Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Pollutant Evaluation

Document D01

Canada

Building Performance Evaluation Series

Pollutant Evaluation

Document D01

AES 1-4:86-22

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title POLLUTANT EVALUATION	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-22
	3. Date March 1988
4. Author(s) G. Kerr	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D01
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 82
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document outlines the causes of pollution of ambient air in conditioned environments, and the problems associated with each of the pollutants. A description of the different levels of testing involved in a building evaluation is included from unequipped observation, to the use of complex measurement devices. Accompanying each test description is a list of applicable air quality standards and guidelines. There is an extensive bibliography. The pollutants covered are: carbon dioxide; carbon monoxide; formaldehyde; particulates; radon; volatile organic compounds and; biological materials. The sources of, and areas most commonly affected by, each pollutant are outlined to provide an inspection starting point. The document gives a general understanding of the measurement methods and assessment procedures in evaluating air pollution in buildings.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D01	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

	PREFACE	*xi*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Purpose and Objectives	*1*
1.2	Background Information	*1*
2.	**TERMS OF REFERENCE**	*5*
2.1	General Framework	*5*
2.2	Limitations of Evaluation Technique	*6*
3.	**METHODOLOGY**	*8*
3.1	Method for Carbon Dioxide	*8*
3.1.1	Stage I – Preliminary Assessment	*8*
3.1.1.1	Description of Techniques	*8*
3.1.1.2	Equipment	*9*
3.1.1.3	Detailed Procedure	*9*
3.1.1.4	Assessment	*10*
3.1.1.5	Resource Allocation and Timing	*10*
3.1.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*11*
3.1.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	*11*
3.1.2.1	Description of Techniques	*11*
3.1.2.2	Equipment	*11*
3.1.2.3	Detailed Procedure	*11*
3.1.2.4	Assessment	*12*
3.1.2.5	Resource Allocation and Timing	*12*
3.1.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*14*
3.1.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	*14*
3.1.3.1	Description of Techniques	*14*
3.1.3.2	Equipment	*14*
3.1.3.3	Detailed Procedure	*14*
3.1.3.4	Assessment	*15*
3.1.3.5	Resource Allocation and Timing	*19*
3.1.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*19*
3.2	Method for Carbon Monoxide	*19*
3.2.1	Stage I – Preliminary Assessment	*21*

3.2.1.1	Description of Techniques	21
3.2.1.2	Equipment	21
3.2.1.3	Detailed Procedure	21
3.2.1.4	Assessment	23
3.2.1.5	Resource Allocation and Timing	24
3.2.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	24
3.2.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	24
3.2.2.1	Description of Techniques	24
3.2.2.2	Equipment	24
3.2.2.3	Detailed Procedure	24
3.2.2.4	Assessment	25
3.2.2.5	Resource Allocation and Timing	25
3.2.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	27
3.2.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	27
3.2.3.1	Description of Techniques	27
3.2.3.2	Equipment	27
3.2.3.3	Detailed Procedure	27
3.2.3.4	Assessment	28
3.2.3.5	Resource Allocation and Timing	30
3 2.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	31
3.3	Method for Formaldehyde	31
3.3.1	Stage I – Preliminary Assessment	31
3.3.1.1	Description of Techniques	31
3.3.1.2	Equipment	32
3.3.1.3	Detailed Procedure	32
3.3.1.4	Assessment	32
3.3.1.5	Resource Allocation and Timing	33
3.3.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	33
3.3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	33
3.3.2.1	Description of Techniques	33
3.3.2.2	Equipment	33
3.3.2.3	Detailed Procedure	33
3.3.2.4	Assessment	34
3.3.2.5	Resource Allocation and Timing	34
3.3.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	34
3.3.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	34
3.3.3.1	Description of Techniques	34
3.3.3.2	Equipment	36

3.3.3.3	Detailed Procedure	36
3.3.3.4	Assessment	38
3.3.3.5	Resource Allocation and Timing	38
3.3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	39
3.4	Method for Particulates	39
3.4.1	Stage I – Preliminary Assessment	41
3.4.1.1	Description of Techniques	41
3.4.1.2	Equipment	41
3.4.1.3	Detailed Procedure	41
3.4.1.4	Assessment	42
3.4.1.5	Resource Allocation and Timing	43
3.4.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	44
3.4.2	Stage II – Simple Measurement Techniques – not applicable	
3.4.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	44
3.4.3.1	Description of Techniques	44
3.4.3.2	Equipment	44
3.4.3.3	Detailed Procedure	44
3.4.3.4	Assessment	47
3.4.3.5	Resource Allocation and Timing	47
3.4.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	47
3.5	Method for Radon	47
3.5.1	Stage I – Preliminary Assessment	49
3.5.1.1	Description of Techniques	49
3.5.1.2	Equipment	49
3.5.1.3	Detailed Procedure	49
3.5.1.4	Assessment	50
3.5.1.5	Resource Allocation and Timing	50
3.5.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	50
3.5.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	50
3.5.2.1	Description of Techniques	50
3.5.2.2	Equipment	50
3.5.2.3	Detailed Procedure	51
3.5.2.4	Assessment	51
3.5.2.5	Resource Allocation and Timing	51
3.5.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	51
3.5.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	51
3.5.3.1	Description of Techniques	51

3.5.3.2	Equipment	53
3.5.3.3	Detailed Procedure	53
3.5.3.4	Assessment	56
3.5.3.5	Resource Allocation and Timing	56
3.5.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	56
3.6	Method for Volatile Organic Compounds	56
3.6.1	Stage I – Preliminary Assessment	58
3.6.1.1	Description of Techniques	58
3.6.1.2	Equipment	58
3.6.1.3	Detailed Procedure	58
3.6.1.4	Assessment	60
3.6.1.5	Resource Allocation and Timing	61
3.6.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	61
3.6.2	Stage II – Simple Measurement Techniques – not applicable	
3.6.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	61
3.6.3.1	Description of Techniques	61
3.6.3.2	Equipment	63
3.6.3.3	Detailed Procedure	63
3.6.3.4	Assessment	66
3.6.3.5	Resource Allocation and Timing	66
3.6.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	66
3.7	Method for Biological Material	67
3.7.1	Stage I – Preliminary Assessment	69
3.7.1.1	Description of Techniques	69
3.7.1.2	Equipment	69
3.7.1.3	Detailed Procedure	69
3.7.1.4	Assessment	70
3.7.1.5	Resource Allocation and Timing	71
3.7.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	71
3.7.2	Stage II – Simple Measurement Techniques – not applicable	
3.7.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	71
3.7.3.1	Description of Techniques	71
3.7.3.2	Equipment	71
3.7.3.3	Detailed Procedure	72
3.7.3.4	Assessment	73
3.7.3.5	Resource Allocation and Timing	73
3.7.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	73

4.	**REFERENCES**	*74*
5.	**APPENDICES**	*77*
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	*77*
5.2	Governing Authorities and Regulations	*79*
5.3	Building Performance Evaluation Document List	*82*

LIST OF FIGURES

3.1.1	Carbon Dioxide (CO_2) – Simple Measurement Data Sheet	*13*
3.1.2	Profile of the Change in Infrared Transmission with Pathlength for Miran 1A Analyser	*16*
3.1.3	Sample Calibration Chart for the Miran 1A Analyser: CO_2	*17*
3.1.4	Variation of Carbon Dioxide Concentration Over a 24-hour Period Inside a Typical Office Building	*18*
3.1.5	CO_2 – Ventilation Correlation Curve	*19*
3.1.6	Carbon Dioxide (CO_2) – In-Depth Monitoring data Sheet	*20*
3.2.1	Carbon Monoxide (CO) – Simple Measurement Data Sheet	*26*
3.2.2	Calibration Chart for the Miran 1A Analyzer: CO	*29*
3.2.3	Carbon Monoxide (CO) – In-Depth Monitoring Data Sheet	*30*
3.3.1	Formaldehyde – Data Sheet for Passive Detectors	*35*
3.4.1	Respirable Particulates – Data Sheet	*46*
3.5.1	Decay Paths of Uranium (U) and Thorium (Th) producing two Forms of Radon	*48*
3.5.2	Radon – Data Sheet for Passive Detectors	*52*
3.5.3	Radon – In-Depth Calibration Data Sheet	*54*
3.5.4	Radon – In-Depth Monitoring Data Sheet	*55*
3.6.1	Volatile Organic Compounds – Data Sheet	*65*

LIST OF TABLES

3.4.1	Size Ranges of Some Commonly Encountered Types of Airborne Particulates	*40*
3.5.1	Kusnetz Factors for Working Level Calculations	*55*
3.6.1	Some Commonly Encountered Indoor Chemicals and their Sources	*57*
3.6.2	Odour Descriptions and Detection Thresholds for some Chemicals Commonly Encountered Indoors	*61*
3.6.3	Standards for Exposure for Some Volatile Organic Compounds Commonly Encountered in Indoor Air	*67*
5.2.1	Standards for Exposure to Substances Encountered in Indoor Air	*80*
5.2.2	Standards for Exposure for some Volatile Organic Compounds Commonly Encountered in Indoor Air	*80*

PREFACE

This class D document covers the tests used by the Building Performance Division to monitor specific airborne pollutants. The tests are designed to locate sources, to measure pollutant concentrations at appropriate locations in the building, and to assess the significance of the findings. Seven types of tests are described. Five involve chemicals, one deals with airborne particulates, and one covers biological species. The tests were selected on the basis of frequency of occurrence of the pollutant, its toxicity, and public concern. Brief justifications for inclusion of each are given below.

Carbon dioxide is generally regarded as harmless, since it occurs everywhere, being a constituent of ambient air and a product of human metabolism. However, there is evidence that concentrations well below those dangerous to human health may cause discomfort and affect worker productivity in office buildings. In addition, local carbon dioxide concentrations have been found to be sensitive indicators of ventilation effectiveness.

In contrast to carbon dioxide, **carbon monoxide** is extremely toxic, and causes a number of deaths each year in North America. Since its presence in the body interferes with transport of oxygen to the brain and muscles by the blood, it affects people in minor ways at relatively low concentrations. It is one of few indoor air pollutants with sources external to buildings, and there are several potential indoor sources.

The occurrence of **formaldehyde** indoors is widespread due to its use in the manufacture of many structural and furnishing materials. It has a strong odour, is irritating to the eyes and at relatively low concentrations affects both upper and lower respiratory tracts. Its presence can cause respiratory and skin allergies and it may be carcinogenic.

The term **particulates** covers smoke, airborne dust, fibres such as asbestos, and microscopic viable particles such as pollen and bacteria. Particulates are of concern because certain sizes can be trapped in the human respiratory system and cause allergies and illness.

Radon is currently a high-profile chemical as it has been implicated in causing cancer in uranium miners. It is present in variable quantities in all soil and ground water, and in most building materials. Thus, it has high potential for penetration into buildings.

The term **"volatile organic compounds"** covers many thousands of chemicals, most of them man-made. They arise indoors from a huge variety of sources including outgassing from some construction materials and most furnishings. They are also components of many modern cleaning and decorating materials. Therefore, a variety of these compounds are present in all office buildings. Effects of overexposure include respiratory problems and allergies. Some volatile organics also have annoying odours. In large buildings, situations are frequently encountered where no one chemical is predominant, but a large number are present, each at low

concentration. Thus study is difficult, but it is important to gather more data as the effects of combinations of chemicals are not yet well understood.

Biological material, such as bacteria, yeasts and moulds, can reproduce in water or damp areas associated with the mechanical systems, and can then be distributed round the building in ventilation air. Investigation is important because some, such as the legionella bacteria, are potentially fatal.

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

The management, maintenance and operation of office buildings used by federal government employees are among Public Works Canada's major responsibilities. To make these tasks easier, and to acquire data which could be used to improve design and construction techniques, the Building Performance Division (BPD) has developed an holistic method for evaluating the performance of office buildings. This method, which is called total building performance, is based on measuring parameters in seven different performance categories, then incorporating the mutual interaction of the parameters in making an assessment of overall performance. The performance categories are: aural, visual, air, thermal and functional quality, energy effectiveness and building integrity. A more detailed description of total building performance can be found in the Class A documents of this series.

This document describes methods for measuring air quality parameters, most of which are pollutant concentrations in ambient air. The purposes of the document are: to provide guidelines for locating pollutant sources; to establish reliable methodology for measuring pollutant concentrations; and to define the impact on air quality of other building parameters such as ventilation or structural materials.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

The office building investigated is likely to be a tall building in an urban setting. It may have an enclosed parking garage and loading dock. Probably the windows cannot be opened, and all ventilation will be achieved by use of mechanical systems. The circulated air will be heated, cooled and conditioned to a degree determined by the weather, building codes, energy use constraints etc. Treatment of the air may include humidification in winter, dehumidification in summer and filtration to remove particulates. The air will be delivered to workstations by a complex system of ducts, fans, diffusers etc., and removed by a similarly complex exhaust system. Usually a fraction of the used air will be recirculated after addition of fresh air from outside. The size of the fraction recirculated will vary with the season.

One important cause of poor air quality is the presence in the air of chemical (and sometimes biological) substances which are described as pollutants or contaminants. These substances are frequently referred to as being poisonous or toxic. However, many are not harmful if present in very small quantities. In this case, it is important to know the threshold level, or concentration in the air at which they do become toxic to people. A number of government and private organizations have issued standards for threshold levels of various chemicals. The standards used by Public Works Canada are listed for each contaminant in the appropriate section of this document, and a full description of the the standards, their meaning, and the organizations which issue them is given in Appendix 5.2. Measurements made of pollutant concentrations in buildings are normally assessed in terms of the sizes of the concentrations relative to one or more of the standards.

Air pollutants in an office building can arise from a variety of sources, both inside and outside the building. Indoor sources, which are of more concern here, fall into four categories which are described briefly below:

- the building structure. This covers the building envelope (roof, walls, doors, windows), interior walls, floors, ceilings, elevators, ducts, pipes and wiring;
- the building furnishings. In a typical office these include carpets, ceiling tiles, adhesives for these items, paints, drapes, partitions, desks, chairs, filing cabinets and a variety of smaller items. One point that should be stressed is that the wide variety of furnishing materials used leads to a very large number of different chemicals in the air. Many of these may be present in very small quantities, and are thus difficult to characterize;
- the occupants. The most important pollutants originating with people are carbon dioxide, which is a normal product of metabolism, and tobacco smoke;
- the normal activities of the building. These include operation of the building mechanical systems, cleaning and general maintenance, paper-handling, and office use of typewriters, photocopiers and personal computers. There are also specialized activities which will not occur in all buildings, such as printing, cooking (cafeteria), storage of chemicals, and operation of recreational facilities or laboratories.

Details about individual contaminants and their sources are given in later sections of this document. When investigating a building, it is wise to remember that most of the contaminants can have several sources. For example, carbon monoxide may come from cigarette smoke generated in the office, from an internal parking garage through doors, elevator shafts etc., or from outside if the fresh air intake is located near a busy street. While major sources, such as parking garages, can be readily identified, weak sources can be difficult to pinpoint.

Although locating contaminant sources is an important part of an air quality investigation, it is also necessary to take into account aspects of building operation which may affect the contaminant concentrations. An important potential contributor to air quality problems is the practice of energy conservation, which can lead to a decrease in the amount of fresh air taken into the building, and, therefore, to a general increase in the levels of pollutants in recirculated air. The ventilation system itself may be part of the problem. Mechanical systems in large buildings are complex and contain many components. Flaws in design, errors in installation and operation, or malfunctioning components can produce local deadspots where air is circulating poorly or not at all and, as a result, contaminant concentrations build up.

The quality of indoor air is, obviously, directly related to pollutant concentrations. However, it is also necessary to consider factors which influence people's perceptions of the air quality. One of the most important of these is thermal quality (thermal comfort). Increased temperature and relative humidity, particularly if combined with low air movement, can lead to perception of good air as stagnant or stale. Another important factor, occupant stress, produces several symptoms which affect the respiratory system and are thus blamed on the air. However, stress can have many causes. In addition to accepted psychological causes, such as lack of job satisfaction and inadequate control of

one's environment, stress can arise from physical conditions in the building. These include poor air quality, (sometimes inaudible) rumble from the mechanical systems (acoustic stress) and lighting too dim or too bright for the task in hand (visual stress).

Real or perceived poor air quality is responsible for many complaints in office buildings. When complaints are sufficiently numerous, or effects on health sufficiently severe, an investigation may be initiated. In the last ten years more than one thousand such investigations have been carried out and the results reported. Similar symptoms are found in almost all the buildings, and this has led to the name "sick building syndrome" being used to describe the phenomenon. It has also been referred to as the "tight building syndrome" when the investigation has involved a building with an airtight envelope and sealed windows. About half of the investigations concluded that the ventilation system was responsible for the problems, and about a further quarter found specific contaminants responsible. However, in a number of cases no definite causes were found.

The information which has been gathered during "sick building syndrome" and total building performance studies allows several conclusions to be drawn about the way an investigation of an office building should be carried out. Normally, a large number of pollutants are present. The symptoms observed can individually be induced by several of these contaminants. In addition, the symptoms are non-specific, and, therefore, not very useful for diagnostic purposes. This indicates that an investigation should not rely solely on analysis of complaints and symptoms, but should involve measurements and physical tests. Measurements of pollutant concentrations are clearly important in distinguishing real from perceived air quality problems. Among problems established as real, the number directly attributed to poor ventilation indicates that the mechanical systems should always be tested, and that air circulation and ventilation effectiveness at workstations should be monitored. Finally, the number of unsolved cases is a warning that an air quality investigation needs to be carried out with care and an open mind as to the possible causes.

Initially the person dealing with complaints about indoor air quality is likely to be the building operator or building manager. The most efficient way to cope with the problem is for the operator, or someone else who is connected with the day-to-day running of the building, to carry out a preliminary investigation, including simple measurements. The aim is to determine a cause for the complaints, or, if that is not possible, to indicate where a more sophisticated investigation should focus its efforts. While measurements of other types of parameters (such as temperature) do not require training to perform and assess, air quality measurement techniques and the significance of the data recorded are not widely understood. This document presents information which it is hoped will improve understanding of several aspects of indoor air quality. The long-term aim is to enable people responsible for large office buildings to perform limited investigations of problems attributed to air quality, and to achieve an acceptable degree of success.

The next section describes the total building performance approach to investigating an office building. It includes discussion of the limitations of the approach, and the levels of expertise necessary for conducting the different parts of the investigation. Following

that are the sections which give details of the background and methodology for individual pollutants.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

The investigation of a building or part of a building is carried out in three stages: preliminary assessment, simple measurements and specialized in-depth monitoring. These stages are used for all of the performance categories in environmental science. The stages as they apply to air quality are described below, and their relationships with and impacts on other performance parameters indicated.

The preliminary assessment consists of collection of information which could be helpful in identifying pollutants, in locating pollutant sources, and in defining the nature and severity of the problems experienced. Information can be obtained from building plans or records of complaints, from inspection of different areas of the building, and from interviews with occupants, managers and others. No measurements involving instruments are made at this stage. The most important, and probably the most effective, preliminary assessment procedure consists of an inspection (or walkthrough) carried out by a building scientist accompanied by the building operator. The walkthrough can be performed by someone unskilled provided that the person is armed with a checklist of observations to make and questions to ask. Checklists are provided for each pollutant in the later sections of this document.

The preliminary assessment, although providing no quantitative data, should yield useful qualitative information as indicated above. This information will enable the person conducting the investigation to choose appropriate locations for testing with instruments, using simple or complex measurement techniques.

The simple measurement techniques are designed for relatively unskilled people who have received a minimum of training, for example, a building manager or operator who has received complaints about air quality in a building for which he or she is responsible. The measurements will be easy and quick to perform. It is expected that the data collected will prove or disprove the presence of hazardous levels of air pollutants in some cases, but not necessarily all cases. In situations where no clear answer is obtained, it may be necessary to use complex measurement techniques to resolve matters.

The Building Performance Division is in the process of preparing a test kit which incorporates equipment for carrying out several of the simple measurement procedures relating to air quality and thermal quality (thermal comfort). This kit will be made available to the regions when complete. Instruments for the kit are currently being tested, and, for this reason, simple measurement techniques for some of the pollutants are not yet available for inclusion in this document.

The complex measurement techniques are, by definition, more complicated than the simple ones. However, there are normally advantages to offset the extra time and expense that the use of complex instrumentation involves. These advantages usually fall into one or more of the categories listed below:

- improved sensitivity, which means one can measure smaller quantities. This is important as office buildings normally contain small quantities of a variety of

chemicals, rather than large concentrations of a single pollutant. This can result in concentrations which are below the lower detection limit of simple instrumentation designed to operate in an industrial environment;

- improved accuracy, which means one can have more confidence in the results obtained;
- time resolution, which means one can obtain a pollutant concentration profile over a period of time, such as eight or twenty four hours. Simple measurement techniques generally yield either a concentration at one point in time, or the average over a given time period;
- more information, such as identification and quantification of individual airborne chemicals rather than generation of a single number representing the effect of many chemicals together. This is useful if the individual chemicals have markedly different toxicities;
- results are obtained in a form more appropriate for comparison with standards;
- there is no simple measurement procedure available.

The complex measurement procedures normally need to be carried out by people with technical expertise. As a result, it is anticipated that consultants will be required to perform the tests. The techniques are described in full, however, in order to give project managers sufficient information to develop a proper scope of work.

As indicated in the Introduction, the total building performance assessment incorporates interactions between the various performance categories involved in an investigation. This document is concerned with identifying contaminant sources and measuring concentrations, but it also indicates the impact on the concentrations of other performance parameters. More information about the tests used to determine these other parameters can be found in the other Class D documents listed in section 5.3.

The preliminary assessment is an informal trouble-shooting procedure. Some of its data-collecting activities are similar to the more formal studies conducted by the functional science group in Building Performance. However, the aims are quite different. An example is that the functional science test locations are chosen to be representative of the building as a whole, so that the data acquired can be statistically analyzed. The preliminary assessment, on the other hand, selects its test locations according to the likelihood of obtaining useful information on pollutants. Thus the preliminary assessment procedure is complementary to the studies of the functional science group, rather than a duplication of their activities. Relevant functional science Class D documents are listed in section 5.3.

2.2 LIMITATIONS OF THE EVALUATION TECHNIQUE

Some of the limitations imposed by the division of the testing into three stages have been indicated above: the preliminary assessment, although providing an overview of the situation in a building, does not yield numerical data for comparison with standards; simple measurements, although easy to carry out, do not always give definitive answers; and complex measurements need time and money to perform.

When either simple or complex measurement techniques are used, the limitations of the instruments involved must be taken into account. The performance of an instrument is

generally defined in terms of the possible error in the measurements it makes. Errors can be of two types, affecting either precision or accuracy. Precision is a measure of consistency, and refers to the repeatability of the results obtained when the same measurement is carried out by an instrument many times in succession. Accuracy is an indication of how closely the result provided by an instrument corresponds to the true value of the quantity being measured. Generally, precision is a function of operating procedure and instrument design, while accuracy frequently depends on calibration method and materials. Sometimes, there are several sources of error, and these must be combined to yield an overall error. If the errors are independent in origin, the calculation is simple: the errors are all expressed in the same units, the squares of the errors are summed and the square root taken. One implication of this is that if two errors differ by a factor of five, the smaller can often be ignored.

Another instrumental limitation involves the lower detection limit, which is is the minimum amount of substance detectable by an instrument. Because pollutant concentrations are generally lower in office buildings than they are in an industrial environment, the detection limit requirements for test instruments are more stringent. Potentially useful information can be lost if measurements are made using instruments with inappropriate detection ranges.

Generally, the instruments used in the simple measurement techniques have the advantage of ease of use, but this may be offset by deficiencies with regard to accuracy, precision or lower detection limit.

3. METHODOLOGY

3.1 METHOD FOR CARBON DIOXIDE

Carbon dioxide (formula CO_2, molecular weight 44), is a colourless gas with no smell. Together with nitrogen, oxygen and argon it is a normal component of ambient air. Outdoors it arises mainly from volcanic activity and breakdown of carbonate minerals, and the concentration is fairly constant all over the world at 300–350 ppm. The ppm unit is defined in Appendix 5.1.

Carbon dioxide is generated indoors primarily through burning of fuel and through human and animal metabolism. In most office buildings human occupants are the only source. People exhale carbon dioxide at a rate of approximately 0.3 litres per minute per person[5]. Levels in offices, which usually fall in the range 500–1 500 ppm, depend on a combination of occupant density, tightness of the building envelope and ventilation efficiency. The dependence on ventilation has been extensively investigated, and has recently been accepted as the basis for determination of approximate effective fresh air rates in buildings. This is discussed further in Section 3.1.3.4.

Exposure to moderate concentrations (1 000 – 5 000 ppm) may cause headache and sleepiness. In addition, continuous exposure over several weeks to such concentrations can upset the acid–base balance in the body, since carbon dioxide is an acidic substance. This causes symptoms of stress, although the effects can be reversed gradually after exposure is discontinued[35]. The more severe effects associated with exposure to concentrations larger than 5 000 ppm are not of concern because such large concentrations are not encountered in buildings under normal conditions.

Based on currently available information, carbon dioxide should be regarded as an irritating rather than a dangerous pollutant in office buildings, and is likely to affect comfort rather than health. Details of the standards for carbon dioxide are given in Sections 3.1.2.4 and 3.1.3.4, and in Appendix 5.2.

3.1.1 Stage I – Preliminary Assessment

3.1.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. Useful information can be obtained from:

- study of building floor plans, if available,
- details of renovations,
- records of complaints about air quality in the building,
- inspection of some or all of the occupied areas of the building,
- inspection of the mechanical systems,
- discussions or informal interviews with building occupants, and
- details of operating procedure and usage for the building.

3.1.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.1.1.3 Detailed Procedure

Since the occupants are almost certainly the only source of carbon dioxide, and concentrations in the building are determined by ventilation effectiveness, this part of the investigation focusses on the distribution of people in the building, air movement and operation of the mechanical systems, as well as on details of complaints.

The floor plans and details of renovations will indicate potential problem areas, such as:

- open office space converted to closed offices
- places where structural alterations have resulted in space usage of a type different from that indicated in the plans (such as transformation of office space into a waiting room)

Potential problem areas may also be signalled by complaints about lack of ventilation, stagnant air, stuffiness and symptoms such as headaches and fatigue.

Areas identified as potentially problematic should be inspected, and the occupants should be interviewed. Information on building usage and mechanical system operation are also required. The checklists below indicate the details needed.

Checklist for **observations**:

- what are the occupant densities in locations where renovations have been carried out?
- are there thermostats in the closed offices created from an open office area?
- what are the peak and average densities in rooms with transient occupancy?
- are the air supply (diffusers) all operational?
- is the exhaust operating properly?
- have the occupants introduced fans to promote air circulation?
- is there system intervention such as blockage of ventilation grilles?
- what types of screens are used as dividers in open office areas?
- how many screens are used?
- where are the supply air diffusers and exhaust relative to the screens?
- in the complaint areas, do all the occupants complain, or only one or two?

Checklist for **mechanical systems**:

- what type of mechanical systems are used in the building?
- how many separate systems are there, and which floors do they serve?
- how does the fresh air intake rate vary with the seasons?

Checklist for **complaints and occupant interviews**:

- in areas where renovations have been carried out, is the population density higher than before the renovations?

- does the air seem fresh?
- is the air moving?
- are there drafts?
- is it too hot or too cold?
- does the ventilation system seem to be working properly?
- what symptoms are experienced?
- what time of day does the air seem the worst?
- what day of the week does the air seem the worst?
- is the air quality problem seasonal?

3.1.1.4 Assessment

The observations made and answers obtained during the inspection can be used to assess the likelihood of carbon dioxide causing problems in any of the investigated areas. Problems are likely if:

- rooms with transient occupancy have high peak and average occupancies (the rooms are full, and quite frequently)
- renovations have resulted in higher population densities
- closed offices in space that was originally open do not contain thermostats
- screens in an open office area extend down to the floor, and both diffusers and exhaust are above the screen tops (air may circulate above the screens only)
- diffusers and exhaust are both in the ceiling (short circuiting is possible)
- either a diffuser or the exhaust has been blocked off and is inoperative

The symptoms associated with exposure to high levels of carbon dioxide are non–specific, and, therefore, not useful for diagnosing the source of the problem. These include headache and fatigue. However, complaints about the environment can be more useful. If complaints of stagnant or stale air, lack of air movement, no fresh air etc. occur in areas where there is evidence (see paragraph above) of ventilation problems, then carbon dioxide could be the cause.

The variation of symptoms and complaints with time may also provide useful evidence. Carbon dioxide concentrations tend to be highest at the end of the working day, and if an occupant is suffering from carbon dioxide exposure, that person should feel worst in the late afternoon. The problem may also be worse is seasons where the fresh air intake is at a minimum.

In contrast to some other pollutants, problems with carbon dioxide can be very local. For example, due to some combination of furniture arrangement and ventilation, one workstation on a floor may receive no air while other workstations are adequately served.

3.1.1.5 Resource Allocation and Timing

About one working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m^2 floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of occupants and the number of complaints recorded.

3.1.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets and records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.1.2 **Stage II – Simple Measurement Techniques**

3.1.2.1 Description of Techniques

The infrared analyser works on the principle that carbon dioxide absorbs infrared radiation at a wavelength (4.28 micrometers or um) which is different from that absorbed by other common contaminants of indoor air. The percentage absorption of such radiation from an infrared source by a sample of air can thus be used as a measure of the concentration of carbon dioxide in the air sample. Since the intensity of the infrared source is variable from day to day the instrument should be calibrated each time it is switched on.

3.1.2.2 Equipment

- portable infrared analyzer, including battery, battery charger and cable. Suitable models are the Fuji ZFP5 and the Horiba APCA-210
- zero gas (carbon dioxide-free air or nitrogen) for calibration of the instrument zero
- gas (such as 1 000 ppm carbon dioxide in air) for calibration of the instrument scale (span calibration)
- regulator and flow meter to control flow of calibration gases, and plastic tubing to link the gas can to the instrument (none of these are necessary if special gas cans are used which plug directly into a calibration port on the instrument)

With proper calibration these analyzers are stated to be accurate to about 5% of full scale, which is 1100 ppm in the 0 – 2 000 ppm range. The precision is rather better, and is about 120 ppm.

3.1.2.3 Detailed Procedure

Locations for sampling carbon dioxide are usually chosen on the basis of the results of the preliminary assessment. Because normal conditions vary from building to building, it is a good idea to compare measurements made in areas expected to yield high carbon dioxide readings (test locations) with those in places expected to yield low readings (control locations).

Control locations should include:

- the air intake
- another outdoor location
- indoor areas where few people are present

Test locations should include:

- the air exhaust

- places where the preliminary assessment indicates there may be high concentrations of carbon dioxide
- other locations where there are complaints of poor air quality

Because the building occupants are the most important source of carbon dioxide in an office building, concentrations of the contaminant vary with occupancy during the day. Levels are expected to be highest at the end of the morning and the end of the afternoon. Further details on the variation are given in Section 3.1.3.4.

If the preliminary assessment has uncovered examples of inoperative ventilation equipment (such as faulty diffusers or blocked grilles), carbon dioxide levels should be recorded before and after the fault is corrected.

The analyzers contain small motors which pump air containing carbon dioxide through the units at a flow rate of about one litre per minute. The instruments give a continuous readout of the carbon dioxide concentration in real time on a scale on the front panel. Each time the instruments are switched on they require a zero calibration and a scale calibration. Due to the small internal volume the instruments react within ten seconds to a change of environment. Thus it is possible to take readings at ten different locations on a floor within fifteen to twenty minutes. The user should stand at least three metres away from the instrument, or hold his/her breath, while taking readings to avoid contributing to the carbon dioxide concentration recorded. Measurements are usually made at positions between desk top and head height. A data sheet for recording carbon dioxide concentrations is included in figure 3.1.1.

Measurements of carbon dioxide concentrations should be co-ordinated with measurements of temperature and humidity.

3.1.2.4 Assessment

The carbon dioxide concentrations recorded should be compared to the following:

- normal outdoor concentration of 300–350 ppm
- ASHRAE standard for offices of 1 000 ppm
- ACGIH/OSHA TLV of 5 000 ppm

Because concentrations vary during the day, concentrations lower than 1 000 ppm may be recorded in problem areas. Therefore, further investigation should be carried out if concentrations higher than 800 ppm are found, and the outdoor levels fall in the normal range indicated above.

The temperature and relative humidity at the test locations should be checked to see whether they fall within the limits specified by ASHRAE. High temperature and humidity can cause the same sorts of complaints about air as carbon dioxide, and they can also influence perception of the pollutant.

3.1.2.5 Resource Allocation and Timing

About fifteen minutes are needed to calibrate the analyzer at the beginning and end of a series of measurements. Approximately one working day is required for the

CARBON DIOXIDE (CO_2) - DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Zero Calibration: _____ Instrument user: _____

Span Calibration: _____ Date: _____

Floor	Place	Time	CO_2 ppm	Comment

Figure 3.1.1 Carbon Dioxide (CO_2) - Simple Measurement Data Sheet

measurements themselves. The actual time will depend on the size of the building, the number of occupants and the number of complaints.

3.1.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

The data sheets and any reports quoting the measurements should be retained and filed.

3.1.3 Stage III – Specialized In-Depth Monitoring

3.1.3.1 Description of Techniques

The technique uses infrared analyzers as described in Section 3.1.2.1. However, instead of testing a large number of sites quickly, a small number of sites are monitored for eight or twenty-four hour periods. This allows more accurate, less portable analyzers to be used. Also, the carbon dioxide concentration profile, recorded on a chart recorder or datalogger, can be used to estimate approximate fresh air rates at the test locations.

3.1.3.2 Equipment

- infrared analyser with AC cable. Suitable analyzers are the Fuji ZFP5 and Horiba APCA-210, or the more accurate Miran 1A, Miran 80 or Miran 200 instruments
- carbon dioxide-free air or nitrogen for calibrating the instrument zero
- up to five gases containing known amounts of carbon dioxide in air (or nitrogen) for calibrating the instrument scale (the Miran 200 is precalibrated, the Fuji and Horiba require only one gas, and the other Miran instruments need four or five)
- a regulator for controlling the flow of calibration gas to the instrument (a two-stage regulator is necessary for high pressure gas cylinders)
- plastic tubing to conduct the calibration gas to the instrument
- a chart recorder (such as the Linear 142 Y-T recorder)
- rolls of chart paper, spare pens and ink for the recorder
- cable with appropriate connectors to link the analyzer and the recorder

With proper calibration the overall measurement error of the Miran 1A instrument is about ±3%, which is ±30 ppm at a concentration of 1 000 ppm. The Fuji and Horiba have a quoted accuracy of ±5% of full scale, which is ±100 ppm.

3.1.3.3 Detailed Procedure

Only one location can be tested per instrument per day. Test locations must, therefore, be selected with care. Normally they are places where high levels of carbon dioxide have been recorded with simple instruments. It may also be appropriate to include one control location, such as the air intake.

The distance which the infrared radiation travels through the gas can be changed to suit the absorbing strength of the contaminant, in this case carbon dioxide. The relationship

between the instrument setting and this distance, which is called the path length, is shown in Figure 3.1.2.

The zero calibration needs to be carried out each time the instrument is switched off and then on again. It must, therefore, be done at the measurement location. If the instrument is operated continuously over an extended period of time, zero calibration should be carried out once a day.

The scale (span) calibration must also be performed each day for the Fuji and Horiba analyzers. The calibration for the Miran 1A and Miran 80 appears to be stable over periods of a month or more provided the scan control, which changes the relationship between scale reading and absorption, is not adjusted. Thus the instruments can be precalibrated in the laboratory, and only a zero calibration need be carried out in the field. The calibration process involves recording the scale reading generated by each calibration gas used. The process takes less than half a minute for the Fuji and Horiba. However, it is much longer for the two Miran analyzers because several calibration gases are used, and because the interior of the analyzers is large, and calibration gas needs to be flowed through the instrument for about five minutes before a reliable reading is obtained.

During monitoring, air is pumped through the analyzer continuously by an internal pump. Readings are displayed on the instrument scale, and recorded as a function of time by the chart recorder. The recorder should be set so that the maximum reading expected will give a pen deflection almost the width of the chart paper, and the chart speed should be about 2 cm/h. The scale readings on the Miran instruments are converted to ppm of carbon dioxide using the calibration data. An example of a calibration chart for the Miran 1A is shown in Figure 3.1.3. Unfortunately all the analyzers have nonlinear scales, and it is necessary to establish a correlation between scale readings and chart recorder deflections manually.

3.1.3.4 Assessment

The peak carbon dioxide concentrations recorded should be compared to the following:

- normal outdoor concentration of 300–350 ppm
- ASHRAE standard for offices of 1 000 ppm
- ACGIH/OSHA TLV of 5 000 ppm

A typical twenty–four–hour profile of carbon dioxide concentration in an office building is shown in Figure 3.1.4. The maximum concentrations observed will vary from place to place in the building, but the shape of the profiles should be similar. The Figure is based on a working day lasting from 8 am to 4 pm approximately. Thus the carbon dioxide concentration increases steeply around 8 am, peaking in late morning. Reduced occupancy during lunch causes a dip about noon. Usually the daily maximum concentration occurs in the late afternoon, and a decrease occurs later as people leave work for the day. The steepness of the decrease and the night time minimum concentration achieved depend on whether (and when) the ventilation is slowed (or turned off) at night, and on the building's air leakage rate.

The data in the Figure can be used to generate an approximate fresh air rates for that location in the building. It is assumed that at the morning and afternoon peaks the fresh

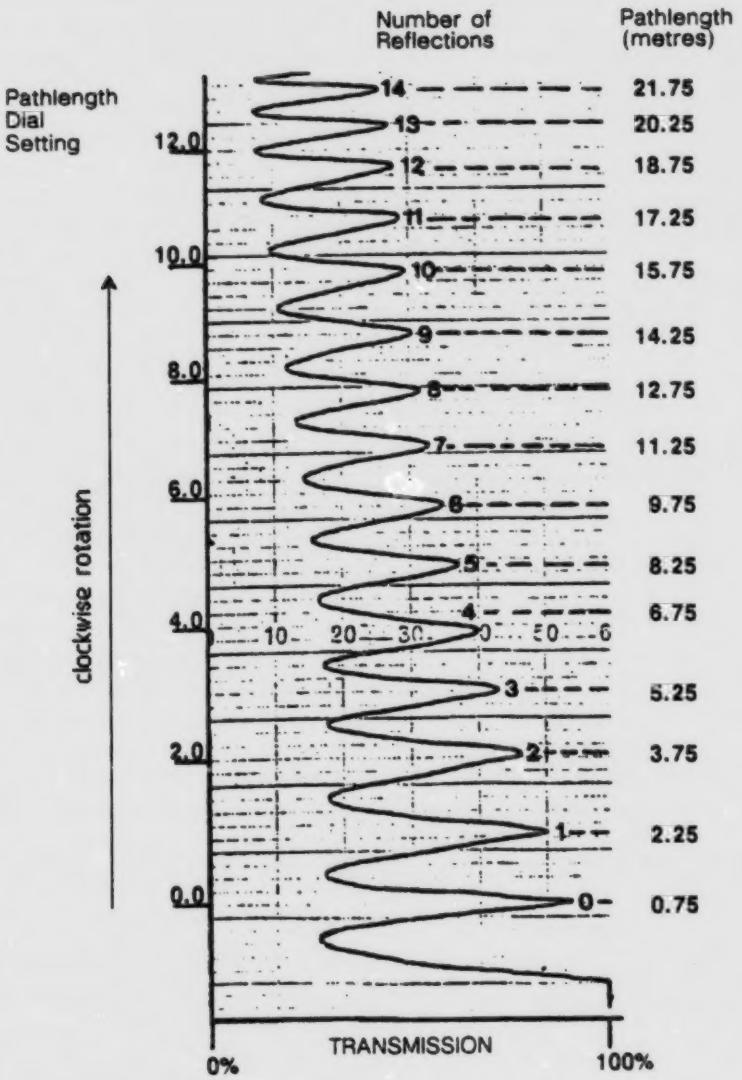

Figure 3.1.2 **Profile of the Change in Infrared Transmission with Pathlength for Miran 1A Analyser.**

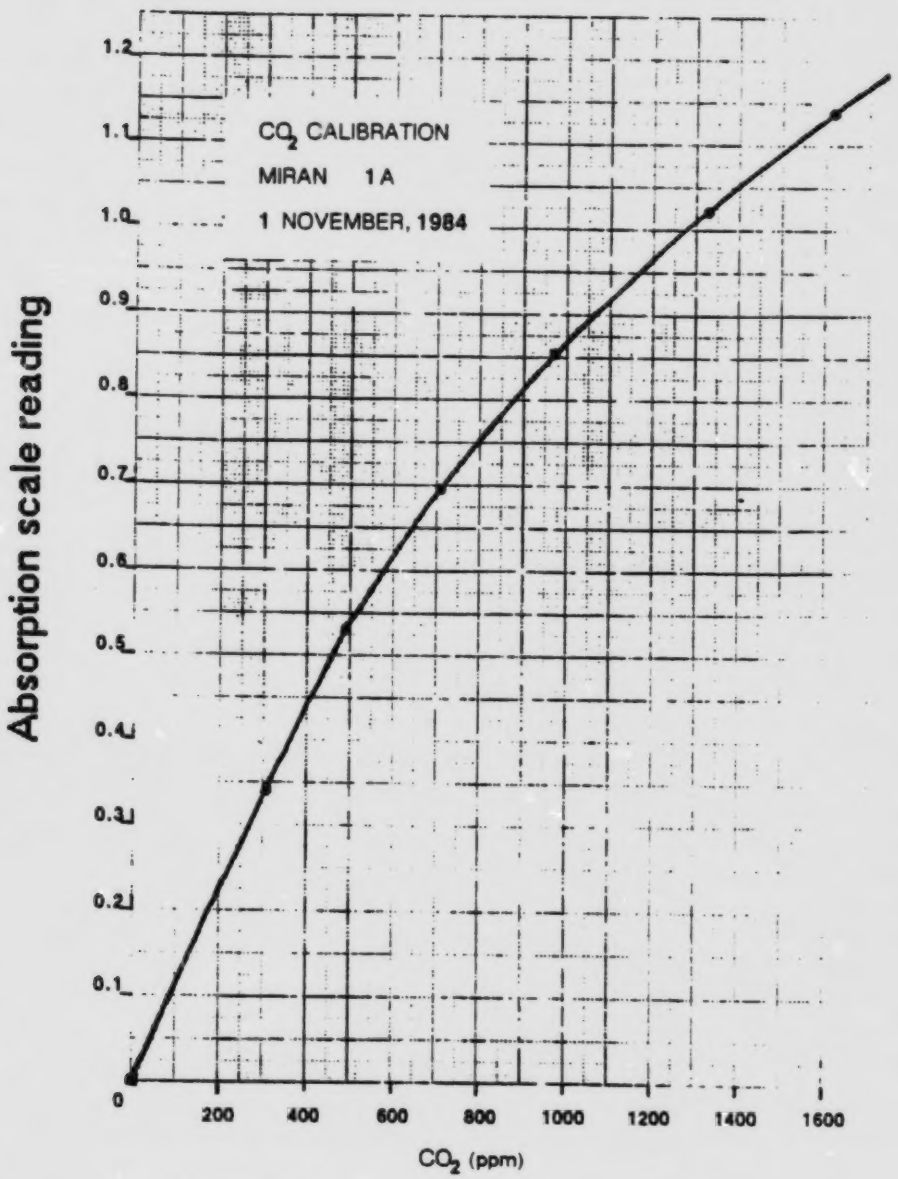

Figure 3.1.3 **Sample Calibration Chart for the Miran 1A Analyser: CO_2**

air taken into the ventilation system is just enough to limit the carbon dioxide concentration to the observed peak values. Given an average carbon dioxide exhalation rate of 0.005 litres per second per person, and an outdoor carbon dioxide concentration of 330 ppm, one can calculate the quantities of outside (fresh) air that must be circulated to achieve these limits. Figure 3.1.5 shows the curve calculated in this way relating carbon dioxide levels and fresh air rates. This curve is generally applicable to buildings. As the activity level of the occupants or the carbon dioxide content of the fresh air rise above the levels used to calculate Figure 3.1.5, the amount of fresh air required will rise accordingly. The average peak concentration in Figure 3.1.4 is 660 ppm. This corresponds to a fresh air rate of 13 L/s in Figure 3.1.5. Note that the occupancy changes at lunch time and afternoon end could hide a higher potential peak concentration, which indicates that the calculated fresh air rate should be regarded as a maximum value.

The most recent ASHRAE Standard[1] uses a calculation very similar to the above to link its ventilation standard for office buildings (15 cfm or 7.5 L/s) and the air quality standard of 1 000 ppm for carbon dioxide.

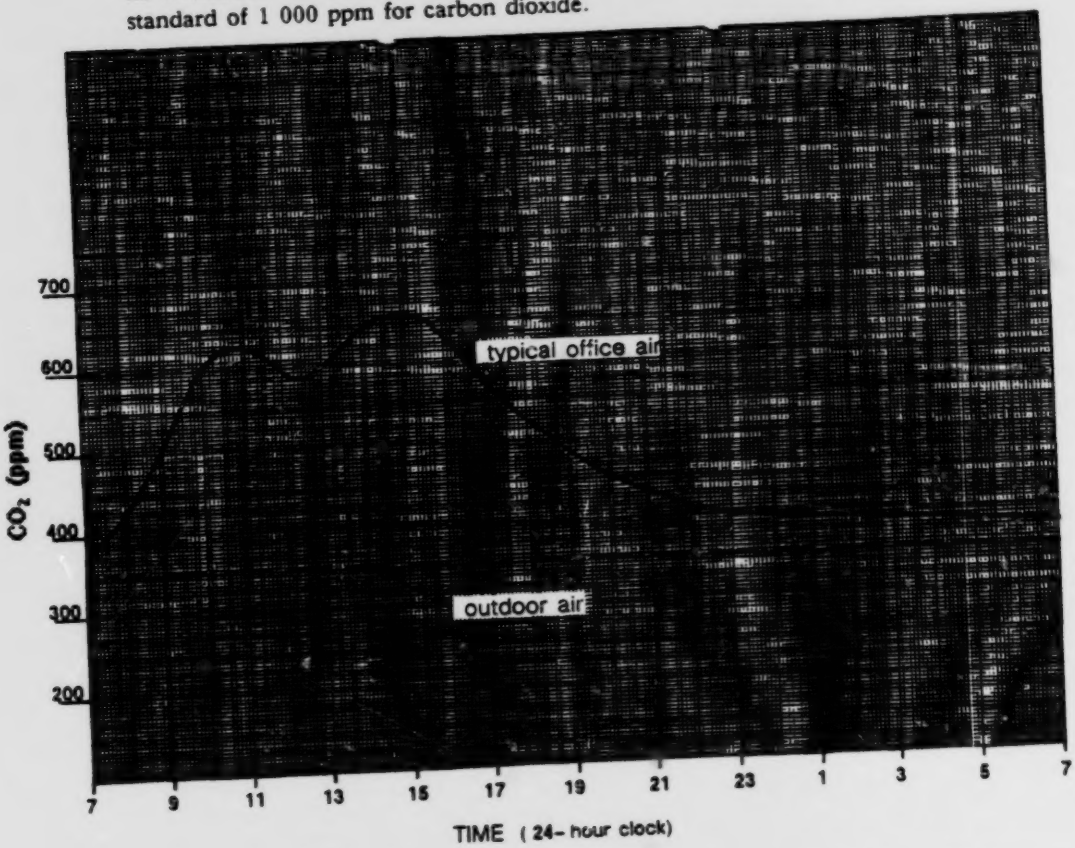

Figure 3.1.4 **Variation of Carbon Dioxide Concentration Over a 24-Hour Period Inside a Typical Office Building**

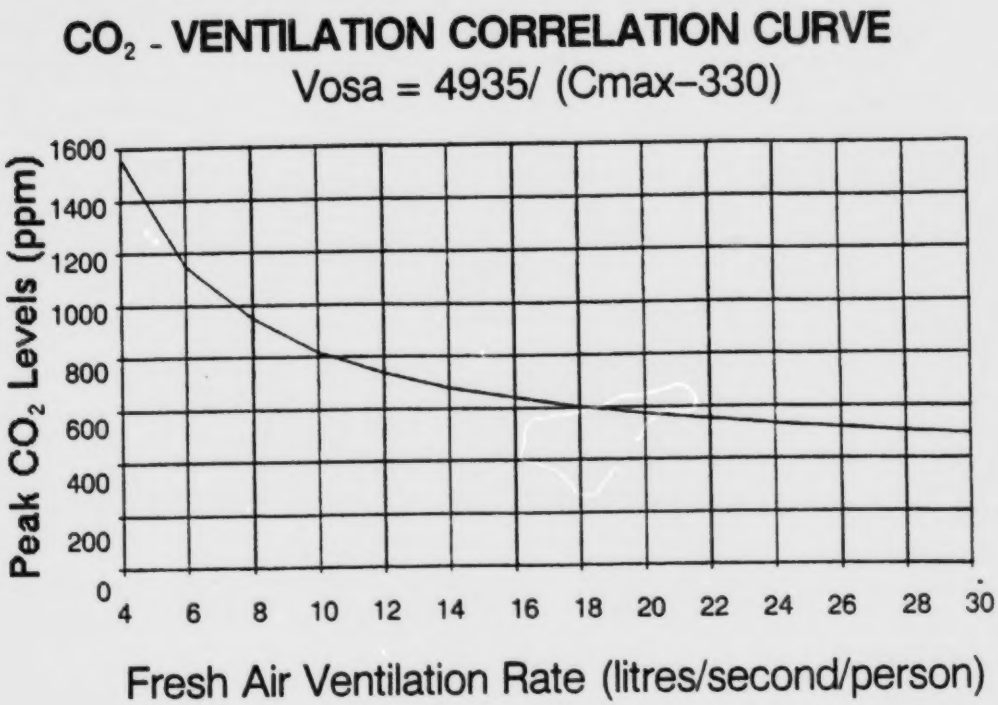

Figure 3.1.5 **CO_2 – Ventilation Correlation Curve**
– Relationship between daily peak carbon dioxide concentrations and fresh air ventilation rate.

3.1.3.5 Resource Allocation and Timing

Selection of test sites, maintenance, calibration and packing of a Miran takes about half a day. Zero calibration requires about fifteen minutes in the field. Each profile takes one day to record, but the analyzer can run unattended for most of this time. Analysis and assessment take about half a day, mainly because of the need to determine concentrations using a calibration chart. If a Fuji or a Horiba analyzer is used, the accuracy of the results and the time spent are both decreased. Preparation of a report may take one or two days, depending on the number of profiles and the results found.

3.1.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All chart records, data sheets and working papers are filed and retained with the report by the consultant. A sample chart for in–depth monitoring is given in Figure 3.1.6.

3.2 METHOD FOR CARBON MONOXIDE

Carbon monoxide (formula CO, molecular weight 28), a product of incomplete combustion of fossil fuels, is a colourless, odourless gas. In contrast to carbon dioxide, carbon monoxide is extremely toxic, and is responsible for several deaths each year in

CARBON DIOXIDE - DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Zero calibration: _____ Instrument user: _____

Scale calibration: _____

Test location: _____

Test start time: _____ date: _____

Test stop time: _____ date: _____

Instrument details	Recorder details
_____	scale: _____
_____	chart speed: _____
_____	
_____	
_____	

Figure 3.1.6 Carbon Dioxide (CO_2) - In-depth Monitoring Data Sheet

North America. Carbon monoxide hinders the transportation of oxygen in the body by forming a strongly-bonded complex with hemoglobin, which is the oxygen carrier in blood. Whenever there is carbon monoxide present in the blood it bonds preferentially to the hemoglobin and excludes the oxygen. When as little as 2% of the available hemoglobin is tied up in this way, the person afflicted may be mentally impaired, due to interference with oxygen delivery to the brain[1]. Smokers who smoke more than a pack of cigarettes a day and inhale the smoke may have 5% of their hemoglobin present as hemoglobin-CO complex.

0.1% (1 000 ppm) carbon monoxide in air can produce severe headache, dizziness, nausea, coma and death. Short term exposures to high levels of carbon monoxide cause numerous neurological changes that may persist for weeks or years after the subject has been removed from the contaminated area. For this reason short-term as well as long-term standards are set for exposure to carbon monoxide.

Since automobile exhaust is the prime source of carbon monoxide, indoor parking garages and loading docks are a potential source of carbon monoxide pollution in buildings. Carbon monoxide is also among the few indoor pollutants which can enter buildings from outdoor sources, for example into the lower floors of a building adjacent to a street carrying heavy traffic. Gas ovens, heaters, furnaces and cigarette smoking are the most important indoor sources of this gas.

Indoor concentrations usually vary between 0.5 and 5.0 ppm, although transient levels exceeding 100 ppm have been found in some homes with gas stoves[24]. Lists of the standards for carbon monoxide are given in Sections 3.2.2.4 and 3.2.3.4, and in Appendix 5.2.

Carbon monoxide cannot be removed by filters or scrubbers in the ventilation system as it is neither reactive nor very soluble in water. Under normal conditions it does not react with oxygen in the air to yield the much less toxic carbon dioxide (CO_2). Thus, it must be removed from contaminated areas by ventilation. A better solution is to prevent it entering the area in the first place.

3.2.1 **Stage I – Preliminary Assessment**

3.2.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. Useful information concerning the possibility of carbon monoxide contamination can be obtained from:

- a study of building floor plans, if these are available;
- records of complaints about air quality in the building;
- discussions or informal interviews with building occupants;
- inspection of selected areas of the building.

3.2.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.2.1.3 Detailed Procedure

The plans, or discussions with the building operator, will reveal the presence of possible problem locations such as:

- internal loading docks;
- internal parking garages;
- kitchens with gas-fired stoves;
- furnace rooms for heating involving combustion of natural gas;
- occupied areas close to any of the above;
- air intakes close to a street carrying heavy traffic.

These should be inspected, and information obtained as indicated on the checklists below:

Checklist for a **loading dock**:

- is there an outer door which is closed after a truck's arrival?
- are truck drivers encouraged to turn off their motors while docked?
- how many trucks use the dock during an average week?

- what is the average time each truck stays?
- are any doors to other parts of the building normally kept closed?
- is the reception office separate from the loading dock?
- does the reception office have proper ventilation?

Checklist for a **parking garage**:

- is it open to outdoor air, or enclosed with a ventilation system operating?
- if ventilated, how is the ventilation system controlled?
- are there any obstructions in the exhaust or fresh air?
- does the ventilation system operate all day, or only at peak hours?
- are there carbon monoxide sensors in the garage?
- what is the frequency of recalibration of the sensors?
- how do people get from the garage to their place of work?
- is special ventilation provided for the person working in the checkout booth?

Checklist for **kitchens with gas stoves**:

- are there special exhausts to remove combustion gases produced by the stoves?
- how are these exhausts controlled?

Checklist for **furnace rooms with natural gas combustion units**:

- are there any obvious leaks in the furnace walls or chimney ducts?
- are there odours of burning or exhaust?

Checklist for **fresh air intakes**:

- where are the intakes in the building envelope?
- if the intakes are below third floor level, are they above a busy street, or above the entrance to either the loading dock or the parking garage?

Checklist for **complaints and occupant interviews**:

- is there much absenteeism?
- are there complaints of ill-health from occupants?
- are there complaints of symptoms such as headache, fatigue dizziness and nausea?
- what locations in the building are these complaints associated with?
- are there complaints of odours attributed to auto exhaust, diesel fumes, the kitchen, the furnace room or the central heating?
- where do the people making these complaints work?
- what time of day are the symptoms or odours worst?
- what day of the week are the symptoms or odours worst?
- are the complaints or symptoms seasonal?
- are there large numbers of smokers in the building, or in one part of it?
- are there complaints about tobacco smoke odours or smokers, or requests for no-smoking areas to be set up?

3.2.1.4 Assessment

The results of observations and answers to questions can be used as follows to assess the likelihood of a pollution problem due to carbon monoxide existing at any of the investigated locations. Usually two or more conditions must be fulfilled before a problem is likely:

- **loading dock**: a problem may exist if trucks' motors are kept on while the trucks are in the loading dock, **and** the motors are enclosed within the dock so that the carbon monoxide cannot escape easily, **and** there are trucks present in the loading dock for more than two hours each day. If these three conditions are fulfilled, the receptionist/commissionaire is at risk if the reception office is part of the dock area and not ventilated. Also, carbon monoxide may migrate to office areas if the dock area is not separated from them by a closed door.

- **parking garage**: if the garage is open and above ground, there should be no problem. If it is enclosed and ventilated, the potential for problems exists if the system is not operating as designed, i.e. if operation is controlled by carbon monoxide sensors which have not been calibrated for a year, or ventilation is switched off except at peak hours (but people do move cars in and out during the daytime), or the exhaust louvers are blocked off to stop the garage getting too cold in winter etc. The checkout booth should have its own air supply if the garage is enclosed.

- **kitchens with gas stoves**: if the stoves are fitted with overhead exhausts which operate whenever the stoves are being used, there should be no problem.

- **furnace rooms with natural gas combustion units**: either odours or breaks in the furnace walls or ductwork are evidence for a possible problem.

- **fresh air intakes**: if the intakes are above the third floor and not close to the exhaust of either the same or the next building, there should be no problem. Intakes at first or second floor level may conduct carbon monoxide into the building if the street carries a lot of vehicular traffic, or if they are located close to a parking garage entrance or a frequently used loading dock.

- **complaints and occupant interviews**: the information here is more difficult to assess, because the symptoms of carbon monoxide poisoning (headaches, dizziness, nausea and fatigue) are non-specific, that is, they can arise from a number of different causes. In an office building these other causes include allergy, illness such as influenza, effects of other pollutants, other physical stressors such as poor lighting, and mental stress due to lack of job satisfaction or work-related personal conflicts. Thus complaints of the symptoms listed should not be taken as evidence of a carbon monoxide problem unless there is also another problem indicator, such as the presence nearby of a probable source (an assessment made in one of the preceding paragraphs of this section), the presence in the area of many smokers, or simultaneous complaints of exhaust or furnace room odours. Additional evidence can be provided by the variation of symptoms and complaints with time. Carbon monoxide originating from a parking garage is likely to produce its worst effects in the morning, but to show no variation from day to day or with the season.

3.2.1.5 Resource Allocation and Timing

One half of a working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m² floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of locations inspected and the number of complaints recorded.

3.2.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets, photographs, and records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.2.2 **Simple Measurement Techniques**

3.2.2.1 Description of Techniques

While non-dispersive infrared analyzers are fairly portable and simple to use, monitors based on electrochemical cells can be smaller, even simpler to use and cheaper. This section will, therefore, focus on pocket-sized electrochemical monitors. The sensor (electrochemical cell) in these instruments is similar to a battery, except that its electrical output changes with the carbon monoxide concentration to which it is exposed. This electrical signal is processed to produce a digital readout representing the carbon monoxide concentration. Because the cell responds to carbon monoxide diffusing into it through a screen in the monitor case, an air pump is not necessary. The liquid crystal digital display also uses less energy than a mechanically-driven pointer. Thus these devices will operate for long periods of time using small batteries. However, they require periodic calibration, particularly if exposed to high concentrations of carbon monoxide.

3.2.2.2 Equipment

- electrochemical monitor such as Industrial Scientific Devices model CO260, or Dynamation CO Monoguard
- spare batteries (usually the type required is available in any hardware store)
- zero gas (carbon monoxide-free air or nitrogen) for calibration of the instrument zero
- gas (such as 50 ppm of carbon monoxide in air) for calibration of the instrument scale (span calibration)
- a regulator to control output from the gas containers
- tubing to conduct the calibrating gases from container/regulator to the instrument
- a small flow meter to ensure the correct gas flow rate is used
- a pad or cup which fits over the instrument sensor to ensure that the calibration gas is not diluted by air, and that it makes proper contact with the sensor
- stopwatch for timing calibrations

3.2.2.3 Detailed Procedure

Before using the monitors, it is necessary to select locations at which measurements should be made. To minimize the influence of instrumental inaccuracies, it is a good

idea to compare measurements made in places expected to be free from carbon monoxide contamination (control locations) with those made in places where the pollutant is likely to be present (test locations). Test locations are selected using the results of the preliminary assessment.

Control locations should include:

- the air intake
- another outdoor location
- indoor locations far from sources

Test locations should include probable sources of carbon monoxide, routes by which it might migrate to nearby areas, and places in these nearby areas. Areas which the preliminary assessment indicated were unlikely to be sources can be omitted. However, measurements should always be made at the access points to an enclosed internal garage, as experience has shown that garages are usually major sources. In addition, measurements should be made in the exhaust air. The air intake should also be treated as a test location if it is situated near a carbon monoxide source.

Electrochemical monitors need to be calibrated regularly. Once per week is a suitable interval between calibrations. Calibration involves checking both the zero and scale with appropriate gases, and adjusting them if necessary. The two adjustments are not fully independent, and if either setting is more than 10 ppm in error, the calibration should be repeated until the readings stabilize. Because the carbon monoxide diffuses slowly into the electrochemical cell, the calibration gases should be flowed slowly over the sensor area. A flow rate of 0.5 L/minute for two minutes is suitable. The calibration should be checked if the instrument is exposed to concentrations higher than 200 ppm, as these may cause the zero to drift.

The monitors can be used within a minute of switching on, and can be switched off and on again without affecting the calibration. Carbon monoxide concentrations are displayed digitally in ppm, correct to the nearest ppm. It may be necessary to allow half a minute for concentrations to achieve their final values when entering an area where a significant change in concentration is expected. The concentrations observed should be entered on a data sheet. A suitable data sheet is shown in Figure 3.2.1.

3.2.2.4 Assessment

The carbon monoxide concentrations obtained should be compared to the following:

- normal indoor and outdoor levels of 0–5 ppm;
- ASHRAE standard of 9 ppm;
- ACGIH/OSHA standard of 50 ppm;
- ACGIH 15–minute standard of 400 ppm.

If concentrations higher than 9 ppm are found in any occupied area of the building, or higher than 50 ppm is found near a source, further investigation is necessary.

3.2.2.5 Resource Allocation and Timing

Up to one half of a working day may be needed for recording carbon monoxide concentrations in a building. The actual time will depend on the size of the building and the number and type of sources. Calibration of the instrument takes about ten minutes.

CARBON MONOXIDE (CO) - DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Zero Calibration: _____ Instrument user: _____

Span Calibration: _____ Date: _____

Floor	Place	Time	CO ppm	Comment

Figure 3.2.1 Carbon Monoxide (CO) - Simple Measurement Data Sheet

3.2.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

The datasheets, and any report based on the measurements recorded should be retained and filed.

3.2.3 Stage III - Specialized In-Depth Monitoring

3.2.3.1 Description of Techniques

Infrared analyzers work on the principle that carbon monoxide absorbs infrared radiation at a wavelength, 4.65 um (micrometers), which is different from other common contaminants of indoor air. The percentage of the radiation absorbed from an infrared source by a sample of air can thus be used as a measure of the concentration of carbon monoxide in the air sample. The advance over simple instruments involves use of recording equipment to obtain daily profiles of concentrations. Depending on the instrument used, there may also be improvements in accuracy or sensitivity.

3.2.3.2 Equipment

Two types of infrared analyzer are available, non-dispersive and dispersive. The non-dispersive instrument can detect only carbon monoxide, is simpler, more portable and easier to use. The dispersive instrument can detect several gases (though no more than one at a time), and can be more accurate because more calibration points are used. However, it is more expensive and less portable. An example of the non-dispersive type is the Horiba APMA 300E. Examples of the dispersive type are the Foxboro Miran 1A, Miran 80 and Miran 200.

This laboratory has experience of using a Miran 1A with a chart recorder, and a list of equipment required for recording data with these is given below:

- infrared analyzer
- cable and extension cord (the batteries in instruments which can operate either with AC or batteries generally do not last a full day)
- carbon-monoxide-free air or nitrogen for calibrating the instrument zero
- up to five gases containing known amounts of carbon monoxide in air or nitrogen for calibrating the instrument scale (span calibration) (the number of gases required depends on the instrument selected)
- a regulator for controlling the flow of calibration gas to the instrument (a two-stage regulator is necessary for high pressure gas cylinders)
- plastic tubing to conduct the calibration gas to the instrument
- a chart recorder (such as the Linear 142 Y-T recorder)
- rolls of chart paper, spare pens and ink for the recorder
- cable with appropriate connectors to link the analyzer and the recorder

With proper calibration the overall measurement error of the Miran 1A instrument is about ±3% of the concentration recorded.

3.2.3.3 Detailed Procedure

Only a limited number of locations can be tested, one per instrument per day. Test locations must, therefore, be selected with care. Normally they are all places where

high concentrations of carbon monoxide have been obtained during earlier measurements made with simple instruments. It may also be appropriate to include one control location. If measurements are made near carbon monoxide sensors, the sensor readings at various times during the test should be noted.

The distance which the infrared radiation travels through the air can be changed to suit the absorbing strength of the contaminant, in this case carbon monoxide. The relationship between the instrument setting and this distance, which is called the path length, is shown in Figure 3.1.2.

The zero calibration needs to be carried out every time the instrument is switched off and then on again. It must, therefore, be done at the measurement location. If the instrument is operated continuously over an extended period of time, zero calibration should be carried out once a day.

The scale calibration of the Miran 1A appears to be stable over periods of a month or more provided the scan control, which changes the relationship between scale reading and absorption, is not adjusted. Thus the instruments can be precalibrated in the laboratory, and only a zero calibration need be carried out in the field. The calibration process involves zeroing the instrument as described above, and recording the scale reading generated by each calibration gas. Because the interior of the analyzer is large, calibration gas needs to be flowed through the instrument for about five minutes before a reliable reading is obtained.

During monitoring, air is pumped through the Miran analyzer continuously by an internal pump. The absorption is displayed on the instrument scale, and recorded as a function of time by the chart recorder. The recorder should be set so that the maximum reading expected will give a pen deflection almost the width of the chart paper, and the chart speed should be about 2 cm/h. The scale and chart recorder readings are converted to ppm of carbon monoxide using the calibration data. An example of a calibration chart for the Miran 1A is shown in Figure 3.2.2,and this is followed by a sample data sheet. for in-depth monitoring, Figure 3.2.3.

3.2.3.4 Assessment

The peak and average carbon monoxide concentrations obtained should be compared to the following:

- normal indoor and outdoor levels of 0-5 ppm;
- ASHRAE standard of 9 ppm;
- ACGIH/OSHA 8-hour TWA of 50 ppm;
- ACGIH 15-minute standard of 400 ppm.

If either of the last two standards are exceeded, immediate action should be taken to decrease carbon monoxide levels in that area. Remedial action should also be taken if the ASHRAE standard is exceeded in office locations.

If sensors are found to give inaccurate readings, they should be recalibrated. Testing and recalibration of sensors should be carried out at least once a year.

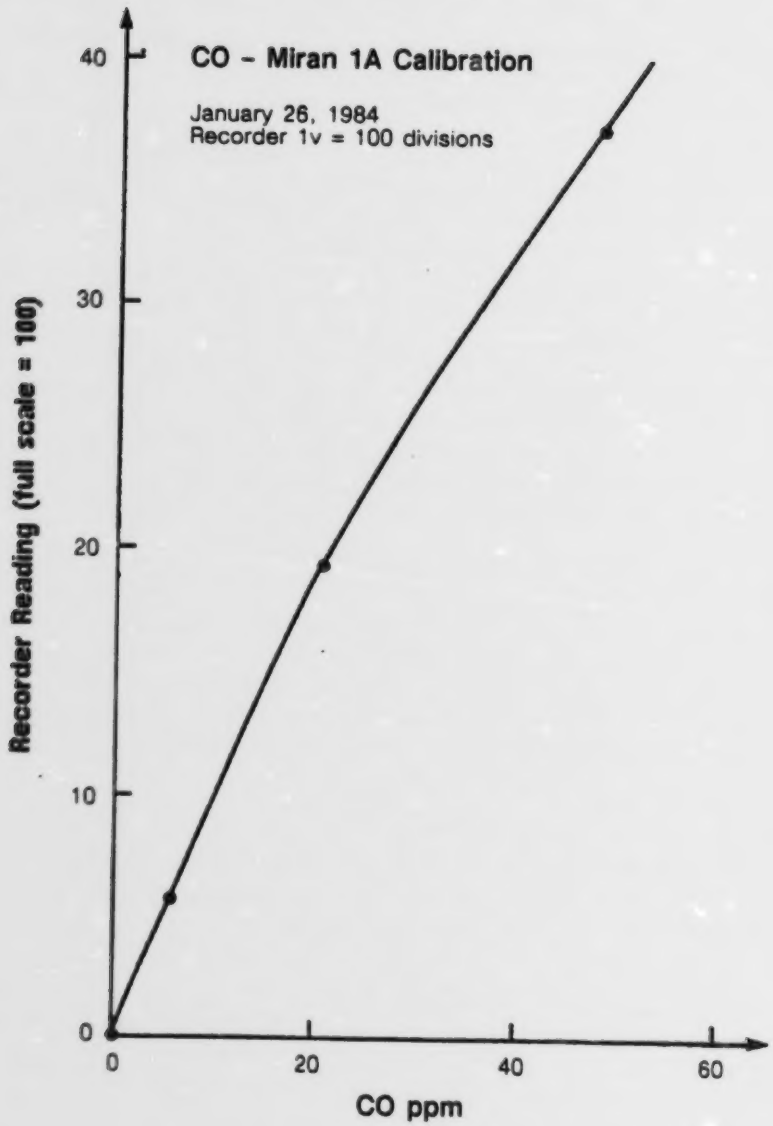

Figure 3.2.2 **Calibration Chart for the Miran 1A Analyzer: CO**

CARBON MONOXIDE - DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Zero calibration: _____ Instrument user: _____

Scale calibration: _____

Test location: _____

Test start time: _____ date: _____

Test stop time: _____ date: _____

Instrument details	Recorder details
_____	scale: _____
_____	chart speed: _____
_____	
_____	
_____	

Instrument details	Recorder details
Miran absorption scale: 1.0	scale: _____
slit width: 1 mm	chart speed: _____
response time: 1 sec	
pathlength: 20.25 m	
Calibration date: _____	

Figure 3.2.3 Carbon Monoxide (CO) - Data Sheet for In-Depth Monitoring

If significant concentrations of carbon monoxide are found in areas apparently unconnected with identified sources, pollution migration tests should be carried out to establish the patterns of movement of the gas in the building. Details of the test method can be found in the Class D document entitled "Pollution Migration" (Section 5.3).

3.2.3.5 Resource Allocation and Timing

Selection of test sites, maintenance, calibration and packing of the Miran 1A takes about half a day. Zero calibration of the analyzer requires about fifteen minutes in the field. Each profile takes one day to record, but the analyzer can run unattended for most of this time. Analysis and assessment take about half a day, mainly because of the

need to determine concentrations using a calibration chart. Preparation of a report may take one or two days, depending on the number of profiles and the results found.

3.2.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All chart records, data sheets and working papers are filed and retained with the report by the consultant.

3.3 METHOD FOR FORMALDEHYDE

Formaldehyde is a colourless, pungent-smelling gas which has chemical formula H_2CO, molecular weight 30 and is very soluble in water. Formaldehyde is frequently found indoors since it is emitted by synthetic materials which have been prepared using it as a base material. It is the chief component of phenolic melamine, acetal and urea resins, which are present in insulation materials such as urea formaldehyde foam insulation (UFFI), and also in particle board, plywood, textiles (especially permanent press fabrics), adhesives, etc.[27] Other products in which free formaldehyde may be present include various plastics, rubber, printing products, paper, paints, photographic supplies, fumigants and dyes[33]. Formaldehyde is also one of the products of smoking, and of incomplete combustion of fossil fuels. As a result, the concentration of formaldehyde in an indoor environment is usually significantly higher than in ambient (outside) air.

The rate of formaldehyde release from synthetic materials is dependent on temperature and relative humidity[21]. Pickrell et al.[27], using dynamic chamber tests, demonstrated that under test conditions, higher temperatures and lower relative humidities provoked an increase in formaldehyde gas emitted by particle board and plywood. In contrast to other volatile organic compounds, which emit large quantities of gas for only six months or a year, the half-life for formaldehyde emission is stated to be 4.4 years[30]. This means that the emission rate decreases by half during each successive 4.4 year period.

Effects on lung function, eyes and throat have been recorded at a formaldehyde concentration of 0.3 ppm[3]. Symptoms of exposure include eye irritation (dry eyes, tearing, itching and burning) and respiratory problems (sore throat, coughing, sneezing and headaches). Formaldehyde can also cause skin and respiratory allergies, nausea and headaches. There is evidence that it can promote tumour formation in rats and mice[11], but as yet there is no proof that it causes cancer in humans.

The odour of formaldehyde can be detected by most people at levels above about 0.1 ppm[14]. It is, however, difficult to identify, because the sources (particleboard, formalin etc.) usually emit other odorous volatile chemicals at the same time. Better indicators of the presence of formaldehyde are the nose and eye irritation which it induces.

3.3.1 Stage I - Preliminary Assessment

3.3.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. Useful information about possible sources of formaldehyde can be obtained from:

- study of construction records, if available
- details of renovations
- records of complaints about air quality in the building
- inspection of some of the occupied areas of the building
- discussions or informal interviews with building occupants
- details of maintenance and cleaning procedures

3.3.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.3.1.3 Detailed Procedure

Records of construction or renovation of the building will indicate whether urea formaldehyde foam insulation (UFFI) has been installed in the building envelope. If it has, the amount used should be determined, and information on whether sealants were used to contain it should be obtained. UFFI is a potentially strong source of formaldehyde.

Records should also indicate which parts of the building have been renovated (structural alterations, painting, replacement of ceiling tiles or carpets) in the past year. These areas should be inspected, and the occupants interviewed.

Records or inspection will reveal places in the building (such as storerooms) where there is extensive use of unsealed plywood or particleboard. If these materials have been installed then sealed, the method of sealing should be established. Normally two coats of polyurethane varnish or vapour barrier paint are necessary for adequate protection. If sealing is absent or inadequate, people who work in these areas should also be interviewed.

Cleaning and maintenance procedures (such as washing walls and carpets, or applying furniture polish) can also lead to release of formaldehyde into the air. Complaints should be checked to see if their timing coincides with activities of this type.

Weak sources are also capable of absorbing formaldehyde, and later re-emitting it. For this reason the dependence of symptoms on time of day, day of the week and season should be determined.

3.3.1.4 Assessment

Symptoms of formaldehyde exposure include difficulty in breathing, eye, nose and throat irritation, headaches, coughing, fatigue, nausea and skin rashes. As these symptoms also occur with exposure to some other organic compounds, they are not in themselves diagnostic of pollution due to formaldehyde.

Because many of the sources are building and furnishing materials, the emission rate should be fairly constant. Thus, if ventilation is turned off each night and at weekends,

symptoms will be worst in the mornings, and particularly bad on Mondays. If the timing of symptoms correlates with cleaning activities, this is reasonable evidence that cleaning materials are responsible. However, chemicals other than formaldehyde in the cleaning materials could also be responsible.

Formaldehyde presents a rather different picture from some other air pollutants, such as carbon monoxide, for which most sources are strong and readily identifiable. The only formaldehyde sources which are likely to be identified during the preliminary assessment are UFFI and large amounts of unsealed particleboard or plywood. Neither of these is actually likely to occur in an office building. It is much more probable that an office will contain a myriad of weak sources such as those described at the start of this Section. These are very difficult to identify. Thus it is possible that the preliminary assessment will not uncover any sources of formaldehyde.

3.3.1.5 Resource Allocation and Timing

One half of a working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m² floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of occupants and the number of complaints recorded.

3.3.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets, photographs and records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.3.2 Stage II - Simple Measurement Techniques

3.3.2.1 Description of Techniques

Passive formaldehyde detectors rely on diffusion of formaldehyde from the air into an adsorption medium. Exposure times required are 1–7 days. The detectors are then sent to a laboratory for analysis.

3.3.2.2 Equipment

The only items required are the passive formaldehyde detectors themselves. These can be obtained from DuPont (Pro–Tek C–60) or Air Quality Research International (AQRI PF–1).

3.3.2.3 Detailed Procedure

Tests should be carried out both in areas where formaldehyde is not expected to be present (control locations), and where it is expected on the basis of the preliminary assessment (test locations). While sampling of outdoor air, the air intake and the air exhaust are recommended, these may not be feasible because the detectors described above require long exposure in dry, wind–free conditions. If the preliminary assessment has failed to reveal any sources, detectors should be placed in all parts of the building (for example, one or two on each floor).

The detectors are stored in sealed bags which are intended to protect them from accidental exposure. The bags are removed at the start of the exposure and the

detectors placed in position, usually 1–2 m above the floor. At the end of the exposure period the detectors are replaced in the bags and immediately sent for analysis. Details of the exposure time are noted on the label attached to the detector bag, and also included on a data sheet with information identifying the detector and the location at which it was used. A suitable data sheet is shown in Figure 3.3.1.

As mentioned earlier, formaldehyde is emitted by a large range of synthetic materials, and the manufacturing process, the bag, adhesives and ink can all contaminate the detectors. For this reason, field blanks should always be used. These are detectors from the same manufactured batch as the sampling detectors, and they are stored and analyzed under identical conditions. The only difference is that they are not opened up and exposed to air. To obtain the true formaldehyde concentrations at sampling locations, the average field blank concentration should be subtracted from the measured sampling location concentrations. The contamination problem also contributes to the short shelf life of formaldehyde passive detectors. Detectors should not be used after the recommended expiry date.

3.3.2.4 Assessment

The measured concentrations should be compared to the following:

- normal outdoor levels of less than 0.02 ppm
- normal indoor levels of 0.03–0.06 ppm
- Health and Welfare Canada guideline of 0.1 ppm
- ASHRAE standard of 0.4 ppm
- ACGIH TWA of 1 ppm
- OSHA TLV of 2 ppm

If any of the detectors indicates a concentration of formaldehyde higher than 0.1 ppm (or an integrated level of more than 0.1 ppm.h) further tests should be carried out to verify the existence of a problem.

3.3.2.5 Resource Allocation and Timing

Fifteen minutes per detector are required at the beginning and end of the exposure period for packaging and recording.

The laboratory performing the analysis usually takes one to three weeks to return the results.

3.3.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All data sheets, working papers and the report received from the laboratory which carried out the analysis are retained and filed.

3.3.3 Stage III – Specialized In-Depth Monitoring

3.3.3.1 Description of Techniques

The methods available for monitoring formaldehyde are complicated, and it is not clear which is the most suitable for office buildings (which require a high sensitivity technique.

FORMALDEHYDE - DATA SHEET FOR PASSIVE DETECTORS

Detector type: _____ Building: _____

Recommended exposure: _____ User: _____

Detector number	Floor	Place	Start time and date	Stop time and date

Figure 3.3.1 Formaldehyde - Data Sheet for Passive Detectors

and a large number of samples). Two analysis methods are widely used, both relying on chemical reactions which involve formaldehyde and produce a coloured product in solution in water. One method uses an all-purpose laboratory-based spectrometer, and involves collecting samples by absorption of formaldehyde in water. The other method uses an instrument specifically designed for accepting air samples directly and extracting the formaldehyde with water internally. Each method has advantages and disadvantages: with the first method, collection of samples requires two-stage liquid impingers and calibrated pumps, while the laboratory analysis is straightforward and reliable; with the second method, collection of air samples with bags is simple and quick, but the analyzing instrument is fragile and subject to calibration problems.

It has been shown that these complex methods are neither more sensitive nor more precise than passive detectors, though they can be more accurate[20]. The main advantage of the methods described here is that they can give immediate results. These results should be treated with caution if the sampling time is short (one hour or less) and building materials or furnishings are suspected, because of the variations in emission rates with temperature and humidity. However, these methods are suitable for identifying short-term emission sources such as use of cleaning materials.

3.3.3.2 Equipment

The equipment required varies depending on whether air or water samples are to be collected, and on the instrument used for analysis. Lists of the equipment needed are given for each choice.

Method 1: sampling

- air sampling pumps, such as Gilian or SKC or DuPont Alpha
- flow rate calibrators such as the Buck calibrator or the MSA model A bubble flow meter
- two impingers connected in series
- distilled water

Method 1: analysis

- a UV-visible spectrometer, such as the Beckman DU
- 4-cm or 10-cm length cell to contain the test solutions
- appropriate chemicals for either the chromotropic acid or the pararosaniline analysis method
- appropriate laboratory glassware for preparation and quantitative mixing of solutions (beakers, flasks, pipettes, burettes etc.)
- a source of formaldehyde for accurate preparation of calibration solutions, such as formalin or sodium formaldehyde bisulfite

Method 2: sampling

- teflon bags
- pump or bellows for filling bags

Method 2: analysis

- the TGM-555 analyzer

- spare tubing for the analyzer
- glassware, chemicals and a balance for preparation of reagent solutions for the analyzer
- permeation tubes of known formaldehyde emission characteristics for preparing calibration gas mixtures
- a cylinder of pure air for preparation of calibration gas
- a calibrator which contains an oven for heating permeation tubes, and a pump for controlling gas flow and mixing, such as the SC-100
- a flow meter for calibrating the SC-100 pump (see above)

3.3.3.3 Detailed Procedure

Method 1:

Two impingers are required to extract formaldehyde from the air with 95% efficiency (one extracts 80% only). Each should be filled with a known quantity of distilled water (20 ml is suitable). The pumps should be calibrated before use each day with two impingers attached to duplicate the load the pump will experience during testing. The impingers are connected in series to the pump. Usually a plug of glass fibre is inserted between pump and impingers to prevent any water from entering the pump. A suitable pump rate is 100 ml/min., with a sampling time of 1-3 h.

The contents of the two impingers are analyzed separately, and the formaldehyde concentrations found are summed. The analysis depends on chemical reactions which produce coloured products. The intensity of the colour is proportional to the amount of formaldehyde in the solution, and is measured by absorption of light passing through a known length of the solution. The absorbance is measured at a wavelength of 580 nm for the chromotropic acid reaction and 570 nm for the pararosaniline reaction.

At least five calibration solutions containing different known quantities of formaldehyde are prepared and analyzed in the same way as the solutions taken from the impingers. This allows a calibration curve to be prepared from which the concentrations of formaldehyde in the impinger solutions can be determined. The distilled water used for collection and preparation of solutions should be subjected to the same analysis (blank determination), and, if formaldehyde is detected, a correction should be applied to the sample formaldehyde concentrations. The formaldehyde concentration in the sampled air can then be calculated from the known volume of air which was drawn through the impingers.

Method 2:

5 or 10 L bags are required, and should be tested for leaks before use.

The TGM-555 analyzer operates with a 12 volt battery or AC supply. A variable-rate air pump at the inlet to the analyzer introduces the air/formaldehyde mixture. Inside the analyzer the air mixes with three reagents in solution in water. A complex system of glass tubes ensures complete mixing of the reagents with each other and the formaldehyde. The reaction used in the analyzer is slow, and is still continuing during recording of the absorptions. For this reason it is important that the same solution flow rate (air pump rate) is used for all samples and calibration mixtures.

The calibrator accurately controls the temperature of the permeation tube, and therefore its formaldehyde emission rate. In the calibration procedure, the permeation tube takes an hour to reach the oven temperature. Then, mixtures containing different concentrations of formaldehyde in air are prepared by passing air at different rates over the emitting tube. In order to determine the concentrations, both the tube emission rate and the flow rate of the mixtures must be known. The former is calculated from information supplied with the tube and the oven temperature, and the latter is determined by calibration using the flow meter.

Using this calibration method, the TGM–555 response to formaldehyde has been found to be linear over the range 0–5 ppm. The combined errors amount to about ±10%, and the lowest concentration detectable is of the order of 0.01 ppm. The reaction used in the TGM–555 analyzer is temperature dependent, so that drift in measured concentrations will occur unless the reagent solutions are be allowed to stabilize to the temperature of the room before analysis starts, and room temperature is maintained constant during the analysis. This temperature dependence is also likely to result in changes in instrument response during the course of a day. for this reason, calibration needs to be carried out every four hours at least.

Temperature and relative humidity should be recorded at the sampling locations since they affect formaldehyde emission rates.

3.3.3.4 Assessment

The measured concentrations should be compared to the following:

- normal outdoor levels of less than 0.02 ppm
- normal indoor levels of 0.03–0.06 ppm
- Health and Welfare Canada guideline of 0.1 ppm
- ASHRAE standard of 0.4 ppm
- ACGIH TWA of 1 ppm
- OSHA TLV of 2 ppm

3.3.3.5 Resource Allocation and Timing

Method 1

About an hour is required for pump calibration and filling of impingers before sampling starts.

The laboratory analysis is quite time–consuming because of the various steps involved. If the pararosaniline method is used, each sample must sit for an hour after all the reagents have been added in order to allow the colour to develop fully.

Method 2

The TGM–555 analyzer is a delicate piece of equipment and requires maintenance in the laboratory. The flexible tubing used in linking glass sections and in the liquid pump stiffens and starts to leak over time. Also the colorimeter photodetectors lose their

sensitivity if not used and need to be reactivated. One day should be allowed for testing and maintenance unless the instrument is frequently used.

Measurement of formaldehyde using the TGM-555 analyzer is time-consuming in the field. An hour is needed for the permeation tube to come up to temperature in the calibrator oven. Each calibration sample (three are required) takes half an hour to complete (ten minutes to measure the flow rate and fifteen for the measurement with the analyzer).

Although the solutions take about five minutes to flow through the analyzer, time is needed for the instrument to stabilize, and each sample may take fifteen minutes to measure. Allowing time for calibration, about twenty five samples can be analyzed in a day.

Analysis of the recorded data requires only a simple calculation, and can normally be completed in half a day.

3.3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All data sheets and other working papers should be filed and retained with the report which is prepared using the measurements.

3.4 METHOD FOR PARTICULATES

Particulates is a descriptive term which covers dust, fumes, aerosols, smoke and small particles of biological origin. Particulates come in all shapes, sizes and compositions. As a first step towards classifying them, it is usually assumed that they are spherical with the quoted size being the diameter (width) of the sphere (see Table 3.4.1). Weight depends upon volume, and, for a sphere, volume depends on the cube of the diameter. This indicates that the weight distribution of particulates will be quite different from the number distribution (which varies with the diameter itself). For example, particles smaller than 0.1 μm (micrometres) in diameter comprise 1% of the weight of particulates in the atmosphere but 80% of the number, while particles larger than 1 μm in diameter make up 70% by weight and only 0.1% by number. About 50% of the weight of suspended particulates is due to particles with diameters in the range 1-5 μm^3. Although the behavior of particulates depends to some extent on air movement, particles with diameters greater than 10-20 μm tend to settle on surfaces. Particles of this size are also visible to the eye under suitable lighting conditions.

Particulate type	Size range (μm)
atmospheric dust	0.001 - 20
viruses	0.003 - 0.05
tobacco smoke	0.01 - 1
smog	0.01 - 2
lung-damaging particulates	0.5 - 5
bacteria	0.3 - 30
coal dust	1 - 100
fly ash	1 - 200
cloud/fog	2 - 70
plant spores	10 - 30
pollen	10 - 100
mist	70 - 200
sand	90 - 2000

Table 3.4.1 Size ranges of some commonly encountered types of airborne particulates

For the purposes of setting standards, particulates are usually classified as total suspended particulates (TSP) or respirable suspended particulates (RP or RSP). Inhalable particulates are the same as TSP, with the upper size limit of both being the diameter at which the particles tend to leave the air and settle on surfaces. Respirable particulates are particles which are small enough to avoid being trapped in the mucous membranes of the nose, and which penetrate the bronchial passages and lungs, where they are deposited. Various values have been reported for the maximum diameter of respirable particulates. These values are as high as 10 μm[35] and as low as 2.5 μm[17]. Particulates with diameters smaller than 0.1 μm are usually not considered to be a problem because:

- they may be exhaled rather than trapped or
- they may be trapped then passed into the bloodstream and eliminated
- they constitute only a small fraction by weight of the total particulate load.

The composition, or nature, of particulates is important in determining whether they are dangerous. Most mineral and animal particulates are referred to as "nuisance dust", a term which indicates that, when present in medium quantities, they do not damage the surface of the lungs, although their presence may cause allergic reactions[22]. An important exception is asbestos. Sources of nuisance dust in office buildings include plaster, fibreglass, cotton, wool, some synthetic fabrics, paper, plants and people.

Tobacco smoke is usually the major contributor of indoor respirable particles. The particulate matter (8% by weight of mainstream tobacco smoke) consists of a mixture of approximately 3800 different chemical compounds[12]. The principal ingredients are tar, polynuclear aromatic hydrocarbons (such as benzopyrenes), various heterocyclic compounds, and metals such as cadmium and lead. These aggregate to form small particulates, or fumes, during the burning process.

Some mineral fibers, such as asbestos, and a number of the polynuclear aromatic hydrocarbons in tobacco smoke have been identified as active tumor-causing agents[9]. The use of asbestos in buildings is now strictly controlled. However, smoking has not been similarly restricted, and remains controversial.

Indoor air may also contain liquid particles, or aerosols. These aerosols commonly carry spores, fungi, bacteria and viruses originating from outdoors or from the occupants. They may be circulated through ventilation systems, and bacteria and fungi may settle and multiply in damp places or stagnant water. These types of contaminants are discussed in Section 3.7.

Outdoor sources of particulates (such as dust, fog, smog and smoke) can also contribute to indoor levels. As a result, there are guidelines or regulations regarding allowable concentrations both indoors and outdoors (see Section 3.4.3.4 and Appendix 5.2). Several studies have shown that indoor, time-averaged concentrations of respirable particulates generally exceed outdoor levels. Typical indoor concentrations range from 100 to 500 $\mu g/m^3$.[25].

Many recently-constructed office buildings incorporate devices in the air circulation system which remove particulates. Some suitable devices are listed below, with the range of particulate diameters which they eliminate in parentheses:

- regular air filters (3-100 μm)
- high efficiency air filters (hepa) (0.01-5 μm)
- electrostatic precipitators (0.01-10 μm)
- packed beds (0.01-100 μm)

3.4.1 Stage I - Preliminary Assessment

3.4.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering useful information about the building. Useful items to consider in the case of particulates include:

- details of recent renovations,
- records of complaints about air quality in the building,
- inspection of some of the occupied areas of the building,
- inspection of the mechanical rooms, and
- discussions or informal interviews with building occupants.

Since particulates may leave visible traces, inspections can be very helpful.

3.4.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.4.1.3 Detailed Procedure

An inspection (or walkthrough) should be carried out of areas recently renovated, of the mechanical rooms, and of areas where there have been complaints. The checklists below indicate the type of information which is needed to assess the likelihood of particulate contamination.

Checklist for **observations**:

- is there dust on horizontal surfaces?
- are there dirt marks around diffusers or air exhausts?
- what percentage of people smoke in the complaint areas?

Checklist for **building operating procedure**:

- are there obstructions (such as birds' nests) in the air intake which could lead to particulates entering ventilation air?
- are the ventilation ducts insulated on the inside?
- when were the ventilation ducts last cleaned?
- are particulate filters used in the building?
- if particulate filters are used, are they located in the fresh air intake, in the recirculated air stream, or in the supply air stream?
- how often are the filters changed?
- are the manufacturer's recommendations on filter changes followed?
- are humidifiers used in winter?
- if so, are there hard water deposits on the equipment?
- how are hard water deposits removed from the humidification equipment?
- how frequently are hard water deposits removed from the humidification equipment?

Checklist for **complaints and occupant interviews**:

- are there complaints about dust in any area?
- does dust come out of the diffusers at any time?
- do people in the building frequently suffer from symptoms such as dry throat or nose, coughing or sneezing?
- do people suffer from respiratory allergies while in the building?
- are the problems seasonal?
- what time of day are the symptoms worst?
- what day of the week are the symptoms worst?
- are there requests for provision of no-smoking areas?
- are there complaints about smoking odours?
- are there complaints of any other odours? if so, what are these odours like?
- are large amounts of paper stored anywhere in the building?
- is there frequent movement of paper in any area?

3.4.1.4 Assessment

The most likely sources of particulates inside an office building are:

- renovations
- outdoor air
- the ventilation ducts
- humidifier deposits in areas with hard water
- storage and movement of large amounts of paper
- smoking

The evidence pointing to each of these sources is indicated below. As in the case of some other air pollutants, symptoms arising from exposure to particulates are non-specific, and should not be used to identify sources in the absence of physical evidence for their existence.

- renovations which involve structural changes will almost certainly cause a particulate problem. However, since the particles tend to be large, the problem should not extend far beyond the space being altered (unless particles are carried by the ventilation system), nor should it persist for long after the renovations are completed;

- outdoor air is unlikely to be the cause of particulate problems if there is a filter system installed in the air intake, and this system is properly maintained. However, if there is no filter system, and loose material of any type is observed around the intake, then outdoor air may be implicated. Allergies which appear in the pollen season are also probably caused by outside air (pollen should be removed by the filter unit);

- dirt around the diffusers indicates that particulates are being introduced into the area by the ventilation system. These particulates may originate in the ventilation ducts if either the building is old, or the ducts have never been cleaned, or there is insulation on the inside surface of the ducts;

- chalky deposits around diffusers may be hard water minerals coming from humidification equipment. Observation of hard water deposits on humidifier vanes, complaints of dusty or cement- or plaster-like odours when the humidifiers are operating or after they have been cleaned would provide additional evidence. Obviously the problem will be most severe in winter for this source;

- the storage and movement of large quantities of paper represent a source that should be obvious from observation and discussions with the people who handle the paper.

- smoking can be the source of a particulate problem if there are a large number of smokers in the area, or if smokers use more than a pack each day at work, or if air circulation is poor in an area where people smoke regularly, or if the non-smokers are situated between the smokers and the air exhaust. Usually complaints of the type indicated in Section 3.4.1.4 are a good indicator for smoking as a source.

Symptoms of particulate exposure include dry eyes, nose and throat, and effects of dust irritation such as coughing, sneezing and respiratory allergies.

3.4.1.5 Resource Allocation and Timing

One half of a working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m^2 floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of occupants and the number of complaints recorded.

3.4.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets, photographs, records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.4.2 **Stage II – Simple Measurement Techniques**

This section is not applicable.

3.4.3 **Stage III – Specialized In-Depth Monitoring**

3.4.3.1 Description of Techniques

A measured volume of air is pumped through a filter, and the total weight of collected particulates is determined by weighing the filter paper before and after pumping. It is possible to collect a sample of either total suspended particulates (TSP) (by pumping directly through the filter paper) or respirable particulates (RSP) (by screening out the heavier particles with a cyclone vortex before the air reaches the filter paper). The accuracy depends on the weight collected since this is normally close to the lower limit of sensitivity of the balance used. This method can be refined by using an electron microscope to count each of the different types of particle present. Particles with diameters between 0.003 and 10 μm can be detected with the electron microscope. Some particles such as spores or asbestos fibers are easily identified by this method.

3.4.3.2 Equipment

- air sampling pumps, with battery charger if battery-powered, and timer. Suitable battery-driven pumps are Gilian or Dupont Alpha. AC-powered pumps are less convenient to use, but are capable of pumping larger volumes of air
- flow rate calibrators for the pumps, such as the Buck Calibrator or the MSA model A bubble flow meter- filter cassettes (for TSP) or combination cyclone and filter units (for RSP)
- hydrophobic filter papers, usually diameter 25 mm, pore size 0.8 μm
- petrie dishes and a desiccator for storage of filter papers
- a weighing balance capable of measuring weights as small as 0.00001 g (0.01 mg), such as the Sartorius model 1712

3.4.3.3 Detailed Procedure

Normally, two types of location are tested, control locations (which are expected to be clean, with low levels of particulates), and test locations (where problems with particulates are likely). This procedure allows data from different buildings to be compared more reliably. Test locations are usually selected on the basis of the results of the preliminary assessment.

Control locations should include:

- the air intake

- another outdoor location if possible
- locations inside the supply air ducts on the building side of the filtration system (if the building has an operative particulate filtering system)
- indoor areas expected not to have high particulate levels

Test locations should include:

- the air exhaust
- areas identified as possible particulate sources during the preliminary assessment
- other locations where there are complaints of poor air quality

One difficulty associated with this method of measurement when it is used in a relatively clean environment is that the weight of particulates collected is very small. When TSP are being sampled, the weight can be increased by using a high–volume sampling pump to draw more air through the filter paper. However, for RSP, the air flow rate must be maintained at only 1.7 L/min for the cyclone vortex to duplicate the screening effect of the mucous membranes of the nose. Assuming a flow rate of 1.7 L/min and a sampling time of 8 h, air containing 100 $\mu g/m^3$ of RSP would deposit 0.08 mg of particulates on a filter paper. With this small weight, water uptake by the filter paper, air currents round the weighing balance, and the lower detection limit of the balance (0.01 mg) all affect the measured weight.

Hydrophobic filter papers can be used to decrease the errors caused by variable uptake of water during sampling. For the same reason the filter papers are stored in a desiccator except during sample collection and weighing. Numbered petrie dishes are used to store and identify individual filter papers during testing. It is not possible to eliminate water uptake by the filter papers completely. Thus, to minimize errors, two blanks should be run each day. These are weighed at the same times as the sample filter papers, and stored in the same desiccator. During the sample collection time, the blanks are exposed to air, but air is not pumped through them, so that they pick up only small quantities of particulates. Any change in weight observed in the blank papers is used to correct results found for the sample papers.

The cyclone, when operated with a pump flow rate of 1.7 L/minute, screens out all particulates with diameters larger than 7 μm. The filter paper, although specified as having a pore diameter of 0.8 μm, traps smaller particulates also because the pores are convoluted. The lower limit is probably 0.1–0.3 μm.

A sampling time of eight hours should be used for both TSP and RSP. The pump flow rate should be calibrated before use each day. The calibration must be carried out with the same filter cassette attached as will be used during measurement, and a filter paper in place.

The data for each filter paper should be recorded on a data sheet, such as the one shown in Figure 3.4.1.

RESPIRABLE PARTICULATES - DATA SHEET

Building: _____ Technician: _____

Floor: _____ Date: _____

Location: _____

Air Sampling Details

Pump no. : _____

Flow rate : _____

Start time : _____

Stop time : _____

Total sampling time : _____

Volume of air sampled : _____

Cyclone no. : _____

Filter details (blank / sample)

Type : _____

Number : _____

Wt. before : _____

Wt. after : _____

Particulate weight : _____

Concentation ($\mu g/m^3$) : _____

Figure 3.4.1 Respirable Particulates - Data Sheet

3.4.3.4 Assessment

The measured particulate concentrations should be compared to the following:

- normal outdoor levels of 20–80 $\mu g/m^3$
- Canadian Ambient Air Quality Objective of 60–70 $\mu g/m^3$
- normal indoor concentrations of 100–500 $\mu g/m^3$
- ASHRAE standard for respirable particulates of 500 $\mu g/m^3$
- ACGIH TLV for TSP of 10 000 $\mu g/m^3$
- ACGIH/OSHA TLV for RSP of 5 000 $\mu g/m^3$

If levels higher than the ASHRAE standard of 500 $\mu g/m^3$ are found in the office areas, it is advisable to initiate cleanup procedures.

This method may not indicate a problem in places where there is considerable smoking. The reason for this is that many of the particulates in tobacco smoke are very small, and thus do not contribute much to the weight collected. There may be many complaints, however, because some of the gases adsorbed on the particles are strong irritants.

If individual types of particulates are identified and counted using an electron microscope, the standards for that type apply. The most important type is asbestos, for which ACGIH has set standards. The upper limits acceptable for different types of asbestos range from 500–2 000 fibres/L.

3.4.3.5 Resource Allocation and Timing

About half an hour is required for calibration of several pumps each day. Weighing takes about five minutes for each filter paper, before and after sampling. Analysis and preparation of a report will take about one day.

3.4.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

The report and the data sheets should be retained and filed.

3.5 METHOD FOR RADON

Radon, an inert, radioactive gas is produced during natural breakdown of heavier radioactive elements. There are two forms of radon, radon–222 (^{222}Rn) and radon–220 (thoron, ^{220}Rn). These are formed during decay of uranium and thorium, and break down quite quickly themselves producing several short–lived "daughter" elements. The decay paths, which are quite complicated, are shown below in Figure 3.5.1. Each decay is accompanied by emission of radiation. There are three types of radiation. alpha–particles, beta–particles and gamma–rays. These are defined in Appendix 5.1. The most damaging emissions are the alpha–particles emitted by radon daughters.

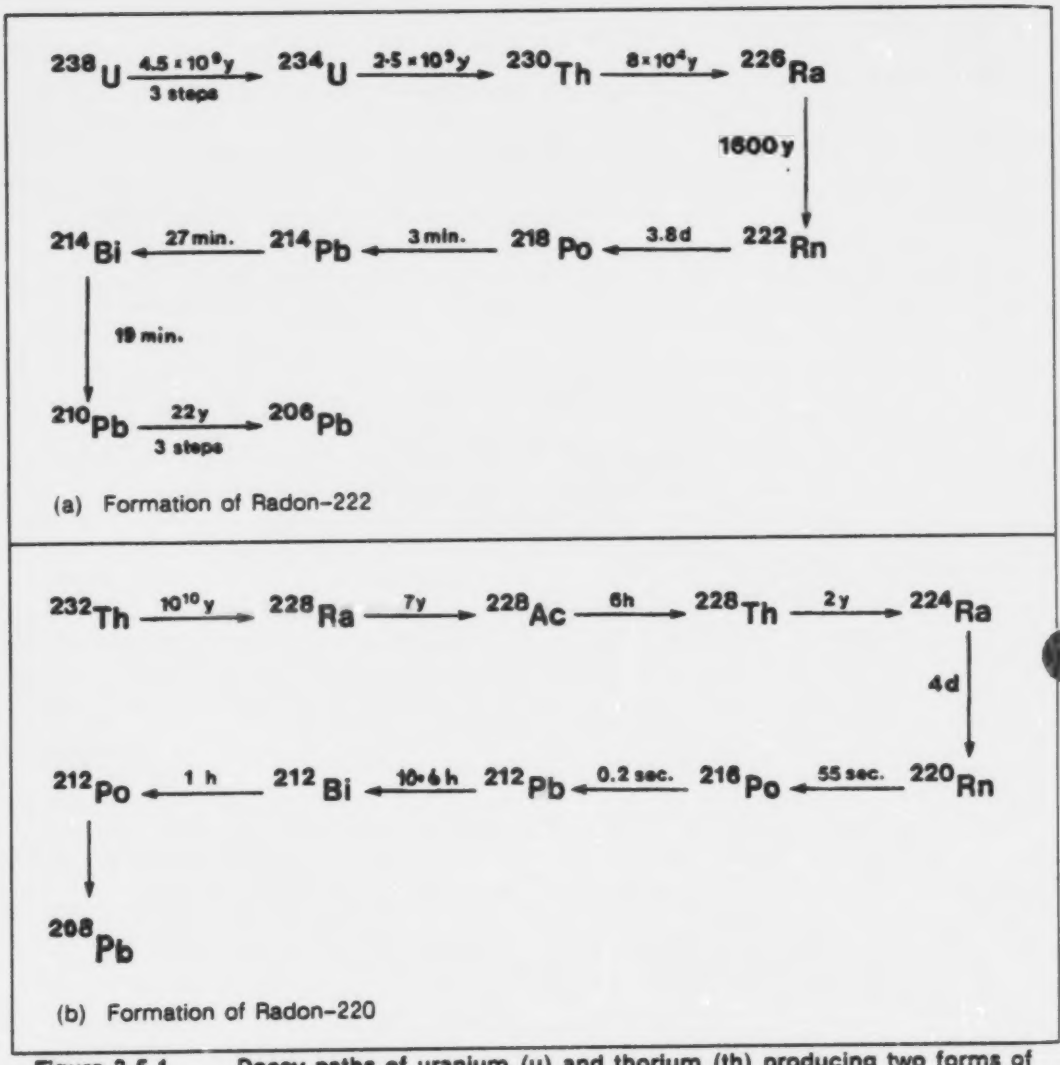

Figure 3.5.1 **Decay paths of uranium (u) and thorium (th) producing two forms of Radon**

All soil and many rocks contain uranium and thorium and are, therefore, sources of radon. Major indoor sources include building materials which contain rock, such as concrete, brick and stones, and also ground water, water supply and natural gas[28,13].

The parent elements uranium, radium and thorium emit radiation continuously. However, the elements themselves, being metallic, remain trapped by the surrounding solid materials and the radiation produced is rapidly absorbed. On the other hand, radon, a gaseous element which is considerably more soluble in water than oxygen or nitrogen, can escape by diffusing into the air or by dissolving in water. Radon s mobility

in soil is determined by the soil's permeability. Variations in diffusion rate can be influenced by barometric pressure. Other daily variations which occur are not well understood.

During their decay the radon daughters form electrically charged species which can become attached to particulates. Some of these particulates can be inhaled and retained in the bronchial tubes and lungs, where the radon daughters decay further and deliver destructive radiation directly to the body tissues. The health risk is assumed to be directly proportional to the amount of gas inhaled and is linked to lung cancer. The risk from low doses through the skin is minimal compared to the risk from the same dose delivered to the lining of the lungs. This is due to the fact that alpha–particles are not very penetrating and the skin provides adequate protection against them.

Standards for radon/radon daughters cannot usefully be expressed in ppm as for other gaseous pollutants because several elements emitting different particles at different rates are involved. Since the major hazard comes from alpha–particles emitted by radon daughters, pollution levels are defined in terms of two units. These are the picocurie per litre (pCi/L), which is related to the number of alpha–particles in the air, and the working level (WL), which takes into account the ventilation rate as well as the number of alpha–particles. For further details of the definitions of these units see Appendix 5.1.

3.5.1 Stage I – Preliminary Assessment

3.5.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. For radon, useful information can be obtained from:

- a study of building floor plans, if available
- records of complaints about odours in the building
- inspection of selected areas of the building

Radon is a colourless, odourless gas, and its radioactivity is too weak to cause immediate effects. Thus, neither it nor its daughters can be detected directly by humans. The investigation, therefore, is aimed at finding conditions likely to cause, or to be associated with, the release of radon within the building.

3.5.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations. Items such as pencil, paper and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.5.1.3 Detailed Procedure

The building plans and discussions with the building operator will indicate some areas which need to be inspected because they contain possible radon sources. These may include:

- regularly–used shower facilities;

- basement or sub–basement areas without flooring;
- rooms with sump pumps in them;
- areas where walls or floors incorporate unsealed stone, cement or brick.

In addition, a walkthrough of the parts of the building below ground level will reveal cracks in the foundations and standing water.

During or after the inspection, the following questions need to be answered:

- is there ventilation in these areas?
- are there people who spend a significant part of the day working in any of these areas?
- are there complaints of odours in these areas, or nearby?

3.5.1.4 Assessment

There is a real possibility of problems with radon at a location if the following three conditions are all met:

- the location has a potential strong source of radon, such as soil or groundwater (in a sub–basement or crawl–space, or exposed through cracked walls or floors below ground level, or open pipes), unsealed concrete or stone, or frequently–used showers;
- ventilation in that part of the building is minimal or absent, or there are odours (which are a useful indication of whether existing ventilation is operating properly);
- people work in these areas, or nearby.

3.5.1.5 Resource Allocation and Timing

One half of a working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m² floor area for possible contamination with radon.

3.5.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets and records of observations should be kept and filed.

3.5.2 Stage II – Simple Measurement Techniques

3.5.2.1 Description of Techniques

Two types of passive radon detectors are widely used. These are charcoal canisters (which adsorb radon gas) and alpha track detectors (which record the presence of alpha–particles). Exposure times required are 1–7 days for the charcoal canisters, and 1–3 months for the track detectors. Both types must be sent to a laboratory for analysis.

3.5.2.2 Equipment

The only items required are the passive radon detectors themselves. These can be obtained from Airchek (charcoal canisters) or Terradex Corporation (alpha track detectors, listed as Track Etch monitors).

3.5.2.3 Detailed Procedures

Tests should be carried out both in areas where radon is not expected to be present (control locations), and where it is expected on the basis of the preliminary assessment (test locations). While sampling of outdoor air, the air intake and the air exhaust are recommended, these may not be feasible because the detectors described above require long exposure in dry, wind-free conditions. A suitable indoor control area would be an open office several floors above ground.

The detectors are stored in sealed bags which protect them from accidental exposure. The bags are removed at the start of the exposure and the detectors placed in position, usually 1-2 m above the floor. At the end of the exposure period the detectors are replaced in the bags and immediately sent for analysis. Details of the exposure time are noted on the label attached to the detector, and also included on a data sheet with information identifying the detector and the location at which it was used. A suitable data sheet is shown in Figure 3.5.2.

3.5.2.4 Assessment

The standards used for radon in Canada are as follows:
Atomic Energy Control Board (AECB) 0.05 WL in homes;
Health and Welfare 0.02 WL in homes;
ASHRAE 0.027 WL in office buildings.

If any of the detectors indicates a concentration of radon higher than 0.01 WL (or an integrated level of more than 0.01 WL-month) further tests should be carried out to verify the existence of a problem.

3.5.2.5 Resource Allocation and Timing

Fifteen minutes per detector are required at the beginning and end of the exposure period for packaging and recording.

The laboratory performing the analysis usually takes one to three weeks to return the results.

3.5.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All data sheets, working papers and the report received from the laboratory which carried out the analysis are retained and filed.

3.5.3 Stage III - Specialized In-Depth Monitoring

3.5.3.1 Description of Techniques

Particulates, some with radon daughters attached, are collected on a filter by pumping a known volume of air through it. The filter is then placed in a sample chamber inside the monitor together with a scintillation disk. Alpha-particles emitted by the radon daughters trapped on the filter hit the disk causing it to emit pulses of light which are recorded by a light sensor. Each detection increases the displayed particle count by one.

RADON – DATA SHEET FOR PASSIVE DETECTORS

Detector type: _____ Building: _____

Recommended exposure: _____ User: _____

Detector number	Floor	Place	Start time and date	Stop time and date

Figure 3.5.2 Radon – Data Sheet for Passive Detectors

Since not all the emitted particles hit the scintillator, and not all light pulses are energetic enough to activate the light sensor, the particle counting efficiency is low. The calibration procedure involves determination of this efficiency before each measurement sequence using a particle source of known emission rate placed in the same position in the chamber relative to the scintillator and the photomultiplier.

The measured counts vary with time because of the different decay rates of the radon daughters. For reliable determination it is best to count particles when the variation of counts with time is slow, eg., after about an hour. The count is then corrected for the delay between sampling and counting using Kusnetz factors[15]. This is necessary because the time between sampling and counting is of the same order as some of the half-lives. The Kusnetz factors also incorporate the relationship between count rate and pCi/L, and the unit conversion from pCi/L to WL. Further details are given in Appendix 5.1.

3.5.3.2 Equipment

- a radon monitor, such as the Pylon model RM-1003, equipped with light-sealed sample chamber and light detector
- a small air pump
- a flow meter to calibrate the pump, such as the MSA Model A bubble flow meter
- a filter holder with millipore filters (diameter 25mm, pore size 0.8 micrometres) for collection of particulate samples
- a scintillation disk
- an alpha-particle source to calibrate the detection system, such as the radioactive metal americium (Am-241)

3.5.3.3 Detailed Procedure

The test locations are places which showed high concentrations of radon during testing with simple measurement techniques. For validation of the present method, measurements should also be made at one or more control locations.

The air sampling pump is calibrated using the flow meter. The calibration is carried out with the filter holder and a filter paper attached to the pump in order to duplicate the conditions used during testing. To improve precision, this process is repeated three times and the average flow rate is determined. Using this method, the rate of air flow through the pump/filter assembly can be measured with an uncertainty of $\pm 5\%$ over a range of rates of 0.1 to 4 L/min. Most calibration kits include a vacuum gauge which allows the load placed on the pump to be estimated (if a pump is run at too high a speed with too heavy a load it runs erratically or cuts out during sampling).

When using the radon monitor care should be taken not to open the light-sealed chamber while the instrument is switched on since this will result in damage to the photomultiplier.

Three one-minute background counts are performed with the scintillator disk in the sample chamber, but no filter. Three one-minute counts are then carried out with the calibration disk in the same position as is used for the radon sample filter paper. The

efficiency of the detector is calculated from the known count rate of the calibration disk as indicated on the calibration data sheet shown in Figure 3.5.3.

RADON - CALIBRATION DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Pump: _____ Date: _____

Pump calibration

Volume of air pumped (L)	____		
Time (secs) of pumping	____	____	____
Average flow rate (L/min)	____		

Detector calibration

Am-241 background count (cpm)	____	____	____
Am-241 counts per minute (cpm)	____	____	____

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Am-241 counts (cpm) - background (cpm)}}{19691} = _____$$

Figure 3.5.3 Radon - In-Depth calibration Data Sheet

A new filter paper is inserted in the holder, and a particulate sample collected. A sampling time of ten minutes at 1.5 L/min pumping rate is appropriate. For selection of Kusnetz factors the time between sampling and counting is taken to be the time between the end of the sampling period and the middle of the counting period. For each sample a one-minute background count and three separate five-minute radon counts are made at 65, 70 and 75 minutes after sampling, and the working levels of radon daughters are calculated according to the following formula:

$$WL = \frac{\text{count rate (cpm) - background count rate (cpm)}}{\text{efficiency x volume of air samples (L) x Kusnetz factor}}$$

A list of Kusnetz factors is given in Table 3.5.1 and all the measurements required are listed on the sample data sheet, Figure 3.5.4.

Time (minutes)	Kusnetz Factor
40	148
42	144
44	140
46	136
48	132
50	128
52	124
54	120
56	116
58	112
60	108
62	104
64	100
66	96
68	92
70	88
72	86
74	83
76	80
78	76
80	73
82	70
84	67
86	64
88	62
90	60

Table 3.5.1 Kusnetz Factors for Working Level Calculations

RADON - SAMPLE DATA SHEET

Instrument: _____ Building: _____

Pump flow rate (L/min): _____ Date: _____

Counting efficiency: _____ Test location: _____

Radon daughter measurement

Sampling start time: _____ Sampling end time: _____

Sampling time (minutes): _____ Volume of air samples (L): _____

Background count (cpm) ____

	65 m	70 m	75 m
Radon counts (5 m)	____	____	____
Radon counts (cpm)	____	____	____
Time sampling-to-counting (m)	____	____	____
Kusnetz factor	____	____	____
Working level*	____	____	____

$$^{*}WL = \frac{\text{count rate (cpm) - background count rate (cpm)}}{\text{efficiency x volume of air samples (L) x Kusnetz factor}}$$

Figure 3.5.4 Radon - In-Depth Monitoring Data Sheet

3.5.3.4 Assessment

The standards used for radon in Canada are as follows:
Atomic Energy Control Board (AECB) 0.05 WL in homes;
Health and Welfare 0.02 WL in homes;
ASHRAE 0.027 WL in office buildings.

Action should be taken to isolate the radon source or improve ventilation if concentrations higher than 0.02 WL are found in, or close to, places where people work.

3.5.3.5 Resource Allocation and Timing

The RM-1003 radon detector does not require maintenance or calibration before a trip. Calibration of the pump and detection system takes about half an hour each day. One complete test takes about 90 minutes, but, since measurements only occupy part of the time, it is possible to dovetail sampling and counting. Thus a sample collection rate of two or three per hour can be easily maintained. Analysis, assessment and preparation of a report will require one to two working days.

3.5.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All data sheets, working papers and the report are retained and filed.

3.6 METHOD FOR VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

In the last twenty years there has been increasing use in office buildings of new types of structural materials, fire and stain-resistant furnishings, cleaning products, and equipment such as wet-process photocopiers. Most of the items contain, or are made from, synthetic chemicals, and can release these chemicals into indoor air. Such chemicals are often referred to as volatile organic compounds (VOCs). The word "volatile" here implies substances which are readily airborne (and not absorbed appreciably onto surfaces of furnishings) and "organic" indicates a chemical compound containing carbon. Miksch et al.[16] analyzed air by the gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) method and found considerably larger numbers and higher concentrations of organic chemicals in indoor air than in outdoor air. Since the identification of VOCs in indoor air roughly coincided with the appearance of air quality problems, volatile organic compounds have frequently been blamed for these problems.

Complaints about poor air quality are usually associated with symptoms such as headaches, dizziness, mucous membrane irritation and fatigue. These symptoms are non-specific, i.e. they are not useful for diagnostic purposes. This has contributed to the difficulty of identifying the reasons for complaints, and the coining of the phrase "sick building syndrome" to describe the problem.A new building emits large quantities of volatile chemicals for the first six months to a year of its existence, then emission decreases to a fairly constant level. In the absence of major pollutant sources, it has been found that the relative concentrations of many of the chemicals are roughly the same in most areas of the building. Thus, each building has its own "fingerprint", which

is dependent on the materials and equipment and processes used in it. However, actual concentrations may vary considerably from location to location inside the building due to local variations in ventilation efficiency.

The majority of contaminants identified in indoor air in office buildings fall into one of three categories:

- aliphatic hydrocarbons (such as hexane and octane);
- aromatic and alkylated aromatic hydrocarbons (such as benzene, toluene and xylene);
- chlorinated aliphatic and aromatic hydrocarbons (such as dichloromethane, trichloroethylene and dichlorobenzene).

Other compounds such as ketones, aldehydes, alcohols and esters have also been observed.

Table 3.6.1 lists some of the volatile organic compounds most commonly encountered in office buildings, and gives an indication of possible sources[15, 18].

Name of Chemical	Sources
acetone	paints, coatings and finishes, paint remover and thinner
n-butyl acetate	acoustic ceiling tile, linoleum, caulking compound
dichlorobenzene (o,p)	carpet
dichloromethane	upholstery and carpet cleaner or protector, aerosols, rapid-drying paints, paint remover, industrial solvent
n-hexane	ceramic tile cement, paints coatings and finishes, paint remover and thinner, upholstery and carpet cleaner or protector
n-octane	linoleum, carpet, caulking compound
Toluene	linoleum, paints, coatings and finishes, paint remover and thinner, upholstery and carpet cleaner or protector, contact cement
1,1,1 trichloroethane	upholstery and carpet cleaner or protector, type correction fluid
trichloroethylene	linoleum
xylene (o,m,p)	paints, coatings and finishes, paint remover and thinner, upholstery and carpet cleaner or protector

Table 3.6.1 Some Commonly Encountered Indoor Chemicals and Their Sources

The compounds found indoors display a range of toxicities. Information on maximum acceptable exposures is given in Section 3.6.3.4 and in Appendix 5.2. Although

standards have been set for the majority of compounds detected, these do not always provide sufficient information to explain problems in large office complexes. One reason for this is that a hundred or more compounds may be present, each at a concentration which is a small fraction of its standard. Unfortunately, almost nothing is known of the synergistic effects of even a small number of these chemicals, and progress in this field is likely to be slow. Thus there is a need to develop some other way of assessing the effects of VOCs. Recently Molhave reported success in correlating sick building syndrome symptoms with total concentrations of solvent type compounds[20], and indicated that complaints could be expected in buildings showing concentrations of VOCs greater than 2 mg/m^3. In Canada a similar study suggests a complaint threshold of 4 mg/m^3 [32]. The Canadian method of sampling measures a larger number of VOCs than the technique of Molhave.

Based on current knowledge of building materials and operating methods, and on available technology, the best approach to determining the effect of volatile organic compounds involves a combination of identification of compounds contributing to the building fingerprint, and determination of total VOC concentration.

3.6.1 Stage I - Preliminary Assessment

3.6.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. Useful information can be obtained from:

- details of renovations
- records of complaints about air quality in the building
- inspection of some of the occupied areas of the building
- discussions or informal interviews with building occupants
- details of operating procedure, maintenance and usage for the building

3.6.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.6.1.3 Detailed Procedure

While an average office building will contain many different chemicals which offgas from building materials, furnishings and office aids, concentrations are likely to be low unless there are major sources and/or poor ventilation. Potential major sources include:

- wet-process photocopiers,
- printshops,
- chemical laboratories (including photographic darkrooms and conservation laboratories in museums and art galleries),
- storage areas for chemicals such as pesticides and waste solvents, and
- cleaning and maintenance activities (including painting and renovations).

Building records, maintenance schedules and interviews with managers should be used to determine basic information about the building and the locations of potential sources. These areas should be inspected and interviews conducted with the people who work there. The checklists below indicate the information required about each potential source.

Checklist for **the building**:

- how old is the building?
- what types of materials are used in construction of the building? (for example carpet, sealer, paint, ceiling tiles)
- has any area of the building recently been renovated or redecorated? if so, when did this take place?
- do any of the cleaning or maintenance activities involve use of large amounts of chemicals?
- is the ventilation system shut down overnight and at weekends? if so, what time is it restarted in the morning?

Checklist for **photocopiers**:

- how many copies are made in a week on each machine?
- is extra ventilation or a separate ventilation system supplied for the areas where these machines are used?
- are the copiers wet-process or dry-process?
- if wet-process, how long does each bottle of toner/dispersant last, and what is the bottle volume?

Checklist for **printshops**:

- what chemicals are used during the printing process and to clean the print rollers?
- how frequently are the rollers cleaned?
- how are the waste rags or paper used during cleaning disposed of?
- is extra ventilation or a separate ventilation system supplied for these rooms?

Checklist for **chemical laboratories**:

- what chemicals are used?
- how frequently is each chemical used?
- is extra ventilation or a separate ventilation system supplied for these rooms?
- are fume hoods provided for procedures involving heavy use of volatile chemicals?
- do the fume hoods exhaust directly to outdoors?

Checklist for **chemical storage areas**:

- what chemicals are stored?
- how volatile are the chemicals?
- are any steps taken to stop evaporation of the volatile compounds?

Checklist for **cleaning and maintenance**:

- what products are used?
- what are the schedules for use of these products?

Checklist for **complaints and occupant interviews**:

- is there much absenteeism?
- what symptoms do people suffer from?
- do the problems appear to coincide with any cleaning or maintenance or renovation activity?
- if the symptoms occur on a regular basis, what time of day are they worst?
- what day of the week are the symptoms worst?
- are the symptoms seasonal?
- are there frequent complaints about odours?
- what are these odours like, and how strong are they?

3.6.1.4 Assessment

A problem due to organic chemicals in the air is likely only if:

- large amounts of chemicals are present (for example during painting, extensive cleaning, heavy use of photocopiers, developing film and making photographic prints, chemical processes, cleaning print rollers with solvent etc.)
- the chemicals are volatile enough to evaporate and are given the opportunity to do so (this will occur during painting), use of some types of cleaning materials, use of wet-process photocopiers (release of chemicals is much less with dry-process machines), photographic darkroom activities, some chemical processes, cleaning of print rollers (especially if the cleaning rags are simply placed in the wastebasket) and storage of chemicals in open containers.
- ventilation is inadequate to deal with the amounts of chemicals released. Normal ventilation should be adequate in storage areas provided that the storage containers are properly sealed. However, darkrooms, printshops and chemistry laboratories usually require special ventilation facilities, and wet-process photocopiers may if usage is heavy. Cleaning and decorating activities can result in emission of large quantities of chemicals, but this is usually only for a short time, and special ventilation is not generally considered necessary.

The symptoms which people experience when exposed to volatile organic chemicals include coughing, sore throats, faintness, nausea, fatigue, headaches, watery eyes, blurred vision, nervous stomach, skin irritation and allergies. These are non-specific symptoms and usually not sufficient to identify individual compounds. This is especially true if the air contains a mixture of chemicals. For this reason, the nature of the symptoms is less useful than information about when and where they are most severe. For example, if the ventilation is turned off at night and at weekends, this could cause occupants to feel unwell, with the symptoms being worse in the mornings, and especially bad on Mondays, if they work close to a weak source of VOCs.

Many chemicals can be identified by their odours if they are present in sufficient concentration. A list of some which might be encountered in an office building is given

in Table 3.6.2. The Table includes odour thresholds, ASHRAE standards (for comparison to the thresholds), and descriptions which might be used by someone unfamiliar with chemicals.

Chemical name	Threshold ppm	Standard ppm	Description
Acetone	100	75	pungent
Dichloromethane	214	10	sweet, like chloroform
n-heptane	120	40	lighter fluid, gasoline
Methyl isobutyl ketone	0.5	5	sweet
Phenol	0.05	0.5	medicinal, carbolic soap
Pyridine	0.02	0.5	fishy, burnt
Tetrachloroethylene	4.7	5	dry cleaner fluid
Toluene	12	10	solvent, pungent
p-xylene	0.7	10	sweet

Table 3.6.2 Odour Descriptions and Detection Thresholds for Some Chemicals Commonly Encountered Indoors

3.6.1.5 Resource Allocation and Timing

One or two working days should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m² floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of occupants and the number of complaints recorded.

3.6.1.6 Documentation : Creation and Retention of Working Papers

All datasheets, photographs and records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.6.2 **Stage II - Simple measurement Techniques**

This section is not applicable

3.6.3 **Stage III - Specialized In-Depth Monitoring**

3.6.3.1 Description of Techniques

Indoor air frequently contains large numbers of chemicals all present in relatively small amounts. These can be separated, and many of them identified, by the complex instrumentation technique of gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). GC/MS is exceedingly sensitive, and can detect airborne chemicals at levels of one part per billion (ppb) or less.

Samples are collected by pumping air containing contaminants through a tube containing a solid adsorbent material which retains many of the VOCs. The VOCs are then removed from the adsorbent either by extraction with solvent or by evaporation at high temperatures in a stream of carrier gas. In the first method a small aliquot of the liquid solution is injected into the gas chromatograph (GC), and in the second method the whole sample is concentrated and transferred into the GC automatically. The GC

uses a capillary column (this type provides the best resolution, i.e. ability to separate compounds) and helium as a carrier gas. The separated compounds come off the column as a sequence of fractions which are passed one by one into the mass spectrometer (MS), where they are broken up by an electron beam and the mass spectrum of the fragments recorded. Each compound has a specific fragmentation pattern so that the mass spectrum acts as a fingerprint for the compound. Provided a fraction contains only one compound, this compound can be identified by a combination of its retention time (the time it takes to pass down the column) and its mass spectrum.

The two methods used for transferring VOC samples from the adsorbent into the GC both have advantages and disadvantages. These are described briefly below.

The advantages of thermal desorption over solvent extraction are:

- since solvent extraction involves using 1 ml of solvent, then injecting 1 µl of solution, much smaller samples can be collected for thermal desorption. This means sample collection times of 5–30 minutes compared to 5–8 hours for solvent extraction transfer;
- the sample treatment is relatively automated, ie all samples are treated exactly the same by the thermal desorption unit, whereas solvent extraction may be subject to operator errors in solvent volume added and solution volume injected;
- all chemicals collected are potentially identifiable. With solvent extraction, the huge solvent peak obscures all other peaks on the chromatogram up to about C7 (toluene);
- all of the collected chemicals are removed from the adsorbent. With solvent extraction, chemicals not soluble in carbon disulfide may be lost or underdetected.

The advantages of solvent extraction over thermal desorption are:

- if something goes wrong with the injection, the process can easily be repeated, several times if necessary. Thermal desorption results in injection of the whole sample into the GC. Thus, if something goes wrong it is necessary to go out and get another sample;
- an internal standard can easily be added to the solution (spiking). This makes quantification of individual compounds easier;
- solvent extraction allows one to determine unstable compounds which are destroyed at the temperatures used in the thermal desorption unit (200–280 °C);
- solvent extraction with carbon disulfide (CS_2) is the method currently accepted by Environmental Protection Agency, in spite of the fact that thermal desorption methods have been in use for several years.

The total quantity of VOCs in the sample can be determined either by calibrating the GC/MS response for each compound individually and summing the amounts found, or by diverting part of the sample to a flame ionization detector (FID) which is supposed to

measure all chemicals containing carbon. The FID method is relatively simple to use, but not highly accurate. The GC/MS quantitation focuses on about twenty compounds which are expected to predominate in office air, and ignores the rest. The error involved in doing this is probably smaller than the built-in errors of the FID method, but the latter method is more time-consuming.

3.6.3.2 Equipment

- GC/MS instrument with computer control and VOC identification software, such as the Finnigan 4510B
- optional thermal desorber unit and adsorbent tube cleaning unit. Note that each company marketing these units uses a different tube size
- tubes containing solid adsorbent. Several adsorbents are in common use. Among the most popular are activated charcoal and 2,6-diphenyl p-phenylene oxide polymer, which is known as tenax. Tubes can be purchased prepacked with an adsorbent, or two or three adsorbents in tandem
- pumps for sample collection, such as the Gilian model HFS 113, or the Dupont Alpha. These are both battery-driven, and are equipped a with battery charger. Tubes with adsorbent packing more than 5 cm in length require heavier duty AC-powered pumps
- a flow rate calibrator for the pumps, such as the Gilian model IHCP-HL-300, the MSA model A bubble flow meter, or the Buck Calibrator
- capillary column for the GC. A DB5 or SE54 lining is suitable for separating hydrocarbons
- a tank of helium (99.9% pure) for use as a carrier gas in the GC
- pure samples of the compound of interest for preparation of calibration mixtures
- pure sample of an internal standard, such as perfluorotoluene (used for spiking)
- optional analytical chemistry glassware, pure solvent and liquid syringes for the solvent extraction method
- optional gas generator, permeation tubes , cylinder of pure air and gas syringes for calibration if using the thermal desorption method
- optional cylinder containing a known amount of benzene or cyclohexane in helium for calibration of the flame ionization detector

3.6.3.3 Detailed Procedure

Normally, two types of location are tested, control locations (which are expected to show low levels of VOCs), and test locations (where problems with VOCs are thought to be likely). This procedure makes allowance for the fact that normal levels will vary from building to building, and allows data from different buildings to be compared more reliably. Test locations are usually selected on the basis of the results of the preliminary assessment.

Control locations should include:

- the air intake

- another outdoor location if possible
- indoor areas expected to be free of VOCs, and which are similar in type and layout to the test locations

Test locations should include:

- the air exhaust
- areas identified as possible VOC sources during the preliminary assessment
- other locations where there are complaints of poor air quality

In addition, the vapour above stored chemicals which are thought to contribute to the building VOC load can be sampled. This is particularly useful for commercial products containing an unspecified mixture of chemicals.

A choice of sampling tubes is available. Small activated charcoal tubes are normally used if the solvent extraction method of sample transfer is chosen. The charcoal is in two sections separated by an inert plug, and these sections are analysed separately to check whether breakthrough has occurred (i.e. whether some captured VOCs are likely to have gone all the way through the adsorbent and out the other end), as this could lead to concentrations of VOCs in the sample being underestimated. For this reason, it is important to pump air through the tube in the direction specified by the manufacturer.

A variety of adsorbents can be used if thermal desorption is the transfer method chosen. The most widely used is tenax, as it efficiently adsorbs and desorbs a wide range of organic chemicals. However, it performs best with compounds of intermediate weight, and it may be better to use two or three adsorbents in tandem (such as ambersorb, tenax and glass beads) to capture low, medium and high molecular weight compounds. Until very recently no type of activated charcoal was suitable for thermal desorption. The direction in which air is pumped through the tubes is important here also, mainly because the gas flow during desorption must take place in the opposite direction to the flow during adsorption. Where multiple adsorbents are used in one tube, air must always be pumped through in the direction which ensures that the heavy compounds are trapped in the first adsorbent, and the lightest VOCs in the last one.

Pumps should be calibrated before use each day with a tube of the type to be used during sampling attached. This is particularly important for VOC sampling, because the adsorbent places a heavy load on the pump which slows the air flow rate. When the length of adsorbent in the tube is longer than about 5 cm, battery–driven pumps are no longer strong enough to pump air through the adsorbent, and AC–powered pumps must be used.

Details of the date, time, sampling procedure and location are recorded for each sample on a data sheet such as the one listed in Figure 3.6.1.

For solvent extraction, usually 1 ml of solvent is necessary, and it should be left in contact with the charcoal for at least an hour. Some evaporation may be carried out before injection to concentrate the solution because a volume of only 1 ul is injected into the GC.

VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS DATA SHEET

Building: _____ Technician: _____

Floor: _____ Date: _____

Place: _____ Tube type: _____

Air Sampling Details

Pump number: _____ Method: _____

Flow rate: _____ Standard mixture number: _____

Start time: _____

Stop time: _____

Total sampling time: _____

Volume of air sampled: _____

Tube number: _____

Analysis Detailes

GC/MS make and model: _____

Sample file identifier: _____

Figure 3.6.1 Volatile Organic Compounds - Data Sheet

Tubes used for thermal desorption are reusable provided that they are cleaned and conditioned at high temperature in a flow of carrier gas after each sampling cycle. The tubes are reconditioned as short a time before use as possible, since they may become contaminated during storage.

During the thermal desorption process it is important to concentrate the sample so that it is all injected onto the head of the GC column simultaneously. The units usually achieve this either by cryofocussing (in which the sample is condensed by liquid nitrogen and the evaporated at high temperature) or by using several desorption/adsorption cycles of increasing speed.

Following injection, the separation of the chemicals, their passage through the mass spectrometer, and the recording of the data necessary for identification of VOCs proceeds automatically, controlled by the instrument computer. The computer carries out an automatic comparison of all recorded mass spectra to the stored library of spectra. Sometimes this is adequate to identify compounds. More frequently, since many fractions will contain more than one compound, and the automatic process is not infallible, it is necessary to spend time refining the identification process manually.

If calibration of individual compounds is being carried out, samples containing known quantities of the compounds are treated in the same way as the collected samples. As an alternative, a secondary standard can be used to spike either the solution or the tube to be thermally desorbed. This standard must be a compound not found in the air being sampled, and, before it is used, its instrumental response relative to the responses of all the compounds to be measured must be determined.

If FID is being used, a sample of an appropriate calibration gas must be injected before or after the sample is run.

3.6.3.4 Assessment

If quantitation of individual compound has been performed (using either solvent extraction or thermal desorption), concentrations obtained are compared to the ACGIH, OSHA and ASHRAE standards listed in Table 3.6.3. Action should be taken if any concentrations higher than the ASHRAE standards are found. Differences in concentrations between areas may help to identify sources emitting chemicals. If major sources are uncovered, pollution migration tests (see Section 4) may be carried out to determine whether the chemicals are carried in the air to other parts of the building, and if so, how quickly.

There are no standards yet for total VOC concentrations. Thus, if FID is used as a quantition method, the laboratory performing the analyses must use its own database of measured values to determine empirically what level of VOCs represents a clean building.

3.6.3.5 Resource Allocation and Timing

The sampling pumps require calibration each day. The process takes up to fifteen minutes per pump, depending on the type of calibrator used. Sampling takes about half an hour, or about five hours, depending on whether solvent extraction or thermal desorption is being used to transfer the sample into the GC. Analysis with the GC/MS takes approximately two hours for each sample. The time spent on calibration depends on the type of quantitation being used, FID, solvent or adsorbent tube. In the case of the latter two the time spent depends on the number of compounds for which reliable concentration measurements are required. Calibration mixtures take about the same time to analyze as collected samples. After data recording is complete, further time is needed for checking and refining the identification of compounds, and for preparation of the report.

3.6.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Sampling details are recorded on data sheets such as the one shown after this Section. Hard copies are obtained of the identification records provided by the computer for

Compound	ACGIH TWA (ppm)	OSHA TLV (ppm)	ASHRAE (ppm)
n-butyl acetate	150		15
acetone	750		75
benzene	10	10	0
carbon tetrachloride	5	10	1
chlorobenzene	75	75	7.5
chloroform - see trichloromethane			
cyclohexane	300	300	30
cyclohexanol	50	50	5
cyclohexanone	25	50	2.5
cyclohexene	300	300	30
decane		100	
1,2 dichlorobenzene	50	50	5
1,4 dichlorobenzene	75	75	7.5
1,1 dichloroethane	200	100	20
1,2 dichloroethylene	200	200	20
dichloromethane	100	500	10
dioxane	25	100	2.5
ethyl benzene	100	100	10
n-hexane	50		5
n-heptane	400	500	40
2-methoxy ethanol	5	25	0.5
methyl cellosolve - see 2-methoxy ethanol			
methyl chloroform - see 1,1,1 trichloroethane			
methyl cyclohexane	400	500	40
methyl isobutyl ketone	50	100	5
naphthalene	10	10	1
octane	300	500	30
pentane	600	1000	60
phenol	5	5	0.5
pyridine	5		0.5
tetrachloroethylene	50	100	5
toluene	100	200	10
1,1,1 trichloroethane	350	350	35
trichloroethylene	50	100	5
trichloromethane	10	50	1
xylene (o-, m-, p-)	100	100	10

Table 3.6.3 Standards for Exposure for Some Volatile Organic Compounds Commonly Encountered in Indoor Air

each sample. The data sheets, identification records and any other working papers are filed and retained with the report.

3.7 METHOD FOR BIOLOGICAL MATERIAL

Yeasts, moulds and some bacteria are included in the broad class of biological organisms commonly called fungi. Most fungi are capable of developing spores. Spore formation occurs by condensation of cell material, then growth of an outer shell which protects the remaining material. Spores are exceptionally resistant to physical and chemical influences, and can remain dormant for long periods of time. However, when they encounter suitable conditions they can regenerate the parent species and start to reproduce rapidly. There are only a few sporulating bacteria that cause disease in man.

While these include the virulent pathogenic bacteria responsible for anthrax, tetanus and botulism, incidence of contamination resulting in illness is low.

Because they are responsible for common infectious and contagious diseases, people are more aware of bacteria and viruses than they are of yeasts and moulds. However, the yeasts and moulds (fungi) are more important in buildings. This is partly due to the life-cycle requirements of viruses and bacteria. Viruses do not live long, and are incapable of reproducing, outside their host. Thus viral infections normally cannot be spread effectively by the building mechanical systems. Bacteria require stagnant water if they are to reach a population sufficient to cause a threat to health. They may reproduce as effectively in non-stagnant water, but the water flow dilutes the population in the same way that air flow dilutes chemical pollutant levels. In addition, there must be a mechanism whereby the bacteria can pass from the water into air which is being distributed round the building. Usually this cannot occur unless the stagnant water is associated with the ventilation system. Fungi are rather less demanding. Many require only damp rather than wet conditions in order to reproduce, and thus can flourish in wall cavities and ventilation ducts.

Fungi and their spores occur naturally in soils, water and air. They are continually being introduced into indoor environments by the processes of infiltration and ventilation. Over ninety-five species of the airborne spores of fungi have been recorded in buildings[6]. These spores can give rise to large viable colonies. The growth of fungi increases dramatically when the relative humidity rises, especially when it reaches 70%[35].

Certain systems, such as cooling towers, evaporative condensers, humidifiers, hot water tanks, etc., provide conditions which can promote the growth of the natural population of fungi and bacteria. The air handling and conditioning equipment may then disseminate the organisms throughout the building. A substantial reduction in ventilation rates, the recycling of air, and an elevated temperature or humidity level will all contribute to an increase in their concentration.

Fungi can cause allergic reactions both in the respiratory tract and on the skin. In rare cases, they can produce pulmonary infections, similar to those caused by viruses. Mould spores can cause allergic reactions even in their dormant state. Some of the fungi produce mycotoxins which can have a variety of effects on people. One of the effects of low level exposure is suppression of the immune system which encourages illnesses which cannot be related directly to the original cause[18].

There are a large number of cases where illness and epidemics have been linked to ventilation and humidification systems. For example, an outbreak of measles in one school was traced to the ventilation system[28]. Epidemics of pneumonia, investigated by the Centre for Disease Control (CDC), have been associated with exposure to airborne organisms circulating in the buildings[8]. The classic example is the 1976 epidemic of legionellosis at a Philadelphia convention[4].

"Humidifier fever", which has symptoms similar to that of influenza, may be due to an allergic reaction to the microorganisms from humidifiers[7]. The symptoms are generally the worst on Mondays after the humidifying system has been shut down over the weekend, then, as the work week progresses, the symptoms are alleviated.

In addition to causing allergies and illness, fungi contribute to the deterioration of materials in buildings and can produce unpleasant odours.

3.7.1 Stage I - Preliminary Assessment

3.7.1.1 Description of Techniques

The techniques are simply different ways of gathering information about the building. Useful information about the probability of biological contamination of a building can be obtained from:

- records of complaints about air quality in the building;
- inspection of some or all of the occupied areas of the building;
- inspection of the mechanical systems;
- discussions or informal interviews with building occupants; and
- details of operating procedure and usage for the building.

3.7.1.2 Equipment

Very little equipment is required as the emphasis is on observations and answers to questions. Items such as a pencil and paper, tape recorder and camera are useful for making a record of the information obtained.

3.7.1.3 Detailed Procedure

As indicated above, biological contamination is only likely to occur when suitable wet or damp breeding grounds are found associated with the air handling system. Thus it is essential to inspect the mechanical rooms thoroughly, and to check any shower facilities in the building.

Checklist for **humidifiers**:

- what type of humidification system is used?- if a spray type is used, are biocides used?
- if a spray type is used, how regularly are the pans cleaned?
- is there any sign of fungal growth anywhere in the humidifier unit?
- are there mouldy odours?
- is there any sign of mould in the ducts on the building side of the unit?

Checklist for **air-conditioning systems**:

- is there slime on the cooling coils or in the condensate trays?
- are the trays cleaned regularly?
- is there mould in the ducts?
- are there mouldy odours?
- does the spray from the cooling tower discharge fall over an air intake, or towards an occupied area of the building?

Checklist for **shower facilities**:

- is the ventilation system for the facility working as designed?

- at what temperature is the hot water maintained?
- are there signs of mould growth on the shower heads, on the shower curtains or on the walls of the shower stalls?
- are there mouldy odours?
- how often are the shower facilities used?

Checklist for **complaints and occupant interviews**:

- is there a record of epidemic illness in the building?
- do occupants suffer from respiratory allergies while in the building?
- do occupants suffer from skin allergies?
- what time of day are the symptoms worst?
- what day of the week are the symptoms worst?
- are the symptoms seasonal?
- are the symptoms associated with one area of the building, or do they occur in all areas?
- are there damp patches on the walls or ceilings?
- is the any sign of mould on the air supply diffusers or exhaust louvers?
- are there mouldy odours?

3.7.1.4 Assessment

Some general guidelines for assessing the likelihood of biological contamination in a building are indicated below.

- the presence of slime or mould in a humidifier or air–conditioning system, or of mould in any of the ducts leading into or out of these units indicates a possible problem
- similarly, mould in ducts or on the surface of diffusers or exhaust louvres in an occupied area is a bad sign
- the spatial distribution of illness or complaints can be useful: if problems are localized, the contamination is most probably in that area; if problems are widespread in the building the contamination is probably in some part of the mechanical system
- problems are likely to be seasonal, involving humidifiers in winter and central air–conditioning systems in summer. Problems are more likely to occur in summer because of the larger number of micro–organisms in outdoor air
- the degree of contamination will increase if the ventilation is turned off overnight or at weekends. Thus symptoms are likely to be worst in the mornings and especially bad on Mondays
- where there is a mouldy odour, there is probably also mould, although its location may not be immediately obvious
- damp spots on walls may be accompanied by fungal growth in the wall cavity
- problems could occur in shower areas if they are very frequently used and the ventilation is inadequate
- the temperature in the hot water tank should be maintained at 55 °C to eliminate legionella bacteria

3.7.1.5 Resource Allocation and Timing

One half of a working day should be allowed for the preliminary assessment of a building of 10 000 m² floor area. The exact time will depend on the complexity of the building, the number of occupants and the number of complaints recorded.

3.7.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All datasheets, photographs and records of observations and answers to queries should be kept and filed.

3.7.2 **Stage II – Simple Measurement Techniques**

This section is not applicable

3.7.3 **Stage III – Specialized In-Depth Monitoring**

3.7.3.1 Description of Techniques

It is obviously desirable to measure the number of fungi in air directly. However, this is considerably more difficult than measuring airborne chemicals. Until now the only method available has been to collect spores on a filter and allow them to multiply on a suitable nutrient medium such as agar. The number of colonies formed is taken to be a measure of the number of spores collected. This is often a poor estimate because of the number of different types of spores in the air and their different reproduction efficiencies. Recently 3 attempts have been made to validate a procedure for indicating whether houses are biologically contaminated. This procedure does not rely solely on determination of the number of colony-forming units (CFU), but involves monitoring chemicals released by fungal material, and an estimation of toxicity. Hopefully in the near future this will lead to a reliable methodology for detection of biological contamination in air.

Contamination of water associated with the mechanical systems can be measured by allowing the bacteria and fungi in a collected sample to multiply on a nutrient medium as described above. The number of any species in the water is difficult to correlate with the number in air, as this depends strongly on how the transmission from the water to the air takes place. However, comparison of the numbers found in clean water and in the water from the mechanical system will give some indication of the potential for contamination. The Building Performance Division has used this method in the past. Since there is no in-house expertise in biology, it is necessary to arrange for a laboratory to perform the analyses, but the samples can be collected. This section describes the procedure used for collecting water samples.

Water samples are collected from taps or reservoirs and each is placed in a separate sterile bottle. Swab samples (solid material) are collected and placed individually in sterile bottles with water from the same location. Care is taken throughout the procedure to avoid contamination of samples by the person collecting them.

3.7.3.2 Equipment

The sterile bottles and swabs necessary for collecting samples are normally supplied by the laboratory carrying out the analyses. Other necessary items are:

- tongs to hold bottles submerged in water during sample collection
- paper towels and isopropyl (rubbing) alcohol for drying and subsequent washing of tongs between sample locations
- disposable pipettes for addition of small volumes of water to swab samples
- a thermometer or thermocouple for measuring water temperatures.

3.7.3.3 Detailed Procedure

Because the normal levels of bacteria and fungi in the water supply will vary, it is particularly important to sample both clean (control) and possibly contaminated (test) water. Control samples should be taken from the cold water supply and water fountains, and test samples from the hot water supply, shower facilities and the mechanical systems. Sampling should be carried out twice, in winter and in summer, in order to test both the humidification and the air-conditioning system, and because the number of spores entering the building from outside varies with the season.

Two types of samples are collected:

- water samples (about 70 ml each) – at least three samples are collected from each location. Each bottle is three quarters filled and the cap screwed on using a paper towel or cap cover to hold it. The bottles are labelled, and the location and water temperature recorded. The tongs are dried with paper towels and rinsed with alcohol before moving to a new location;
- swabs which are used to remove solid or semi-solid material from a surface. Water is always included with swab samples so that any living material can remain viable until the sample is analyzed. Three bottles are collected with three swabs for each bottle. In a pan or tray one swab is taken from the top surface of the water, one from the side of the container near the water surface and one from the bottom using tongs. The swabs are placed half way into the bottle and broken in the middle using the sterile bottle top. A few milliliters of water from the source are added to the bottle containing the broken-off swabs using a sterile pipette . The pipette is discarded, and the bottle capped and labelled. The location, water temperature, date and time of collection are recorded before proceeding to the next sampling site.

To avoid contamination of samples it is important not to put one's fingers in the water being collected, on the neck or cap of the bottle, or on anything to be enclosed in the bottle i.e. the lower part of the swab. Tongs must be used to hold the bottle if it is submerged in water during sample collection.

If the area being sampled is heavily contaminated, the people collecting the samples should wear protective masks.

When all the required samples have been collected, they are delivered to the analyzing laboratory, immediately if possible, but certainly within twenty four hours, otherwise testing is invalidated.

The laboratory will carry out standard tests, for example, standard plate counts (SPC), total coliforms, pseudomonas, yeasts and fungi. In addition, for the detection of legionnaires' bacilli, which cause legionnaire's disease, a direct fluorescent antibody examination (DFA) of smears, and culturing on different media are used.

3.7.3.4 Assessment

The laboratory which carries out the tests submits a report on the results found. An assessment is made of the significance of the levels of biological material found compared to standards such as those set by the American Public Health Association, or Health and Welfare Canada.

None of the agencies regulating air quality have issued standards for indoor air concentrations of any moulds or bacterial species.

3.7.3.5 Resource Allocation and Timing

Collection and delivery of the sample bottles provided by the biology laboratory takes about half a day. Fifteen minutes are required at each location to complete collection of three water and three swab samples.

The laboratory performing the analyses will take several days to prepare cultures from the collected samples and test them, and a further two weeks to prepare their report.

3.7.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All working papers, and the report supplied by the biology laboratory are filed and retained.

4. REFERENCES

1 ACGIH, **Threshold Limit Values for Chemical Substances in the Work Environment Adopted by ACGIH for 1984–85**, published by ACGIH, (1984).

2 R. Alexandersson, B. Kolmodin–Hedman and G. Hedenstierna, **Exposure to Formaldehyde: Effects on Pulmonary Function** in Archives of Environmental Health, 37, 279–2183, (1982)

3 American Society of Heating, Refrigeration and Air–conditioning Engineers (ASHRAE), **ASHRAE Handbook, 1981 Fundamentals**, Chapters 11 and 13, published by ASHRAE (1981).

4 ASHRAE, **Position Paper on Legionellosis**, published by ASHRAE, Atlanta, U.S.A. (1981).

5 ASHRAE, **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Standard 62–1981R, published by ASHRAE (1986).

6 A.F. Bravery, **Origin and Nature of Mould Fungi in Buildings**, published by the Building Research Establishment, England, (1980).

7 G.W. Brundcroft, **Maintenance of Spray Humidifiers**, NTIS Report PB 80–124944 (1980).

8 **A Summary of the Report on the 1980 CDC Conference**, April 11, (1980).

9 Department of Health and Human Services (U.S.A.), **The Health Consequences of Smoking; Cancer**, A Report of the Surgeon–General, (1982).

10 Department of Health and Human Services (U.S.A.), **US Code of Federal Regulations**, Title 29, Part 1900, (1980)

11 R.A. Greisemer et al., **Report of the Federal Panel on Formaldehyde**, published by the National Toxicology Program and Consumer Product Safety Commission, Washington, D.C., U.S.A., (1980).

12 D. Hoffman et al., talk presented to the U.S.A.–Japan Meeting **New Etiology of Lung Cancer**, (1983).

13 C.D. Hollowell, **Indoor Air Quality**, Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL–12887, (1981).

14 C.D. Hollowell et al., **Indoor Air Quality in New Energy Efficient Houses and Retrofitted Houses**, Proceedings of the International Symposium on Indoor Air Pollution, Health and Energy Conservation, Amherst, Massachusetts, U.S.A., 1981.

15 H.L. Kusnetz, **Radon Daughters in Mine Atmospheres. A Field Method for Determining Concentrations**, American Industrial Hygiene Association Journal 17, 85, (1956).

[16] R.R. Miksch, C.D. Hollowell and H.E. Schmidt, **Trace Organic Contaminants in Office Spaces**, Environment International, 8, 129–137 (1982).

[17] F.J. Miller et al., **Size Considerations for Establishing a Standard for Inhalable Particles** in J.Air Pollution Control Association, 29, 610–615, (1979).

[18] J.D. Miller, **Microbials in Indoor Air**, communication from the Mycotoxin Group, Plant Research Centre, Agriculture Canada, (1986).

[19] L. Molhave, **Indoor Air Pollution due to Organic Gases and Vapours of Solvents in Building Materials** in Environment International, 8, 117–127 (1982). R. Otson, D.T. Williams and P.D. Bothwell, **Charcoal Tube Technique for Simultaneous Determination of Selected Inorganics in Air**, American Industrial Hygiene Association Journal, 44, 489–494 (1983).

[20] L. Molhave, **Indoor Air Quality in Relation to Sensory Irritation due to Volatile Organic Compounds**, ASHRAE Transactions, 92, 306–316, (1986)

[21] D.J. Moschandreas and H.E. Rector, Technical Report LBL–12590, EEB–Vent 81–12–1981, (1981).

[22] A. Muittari and T. Veneskoski, **Natural and Synthetic Fibers as Causes of Asthma and Rhinitis** in Annals of Allergy, 41, 48–50, (1978).

[23] National Research Council (U.S.A.), **Effects of Chronic Exposures to Low Levels of Carbon Monoxide on Human Health**, National Academy Press, Washington DC, USA, (1969).

[24] National Research Council (U.S.A.), **Indoor Pollutants**, National Academy Press, Washington DC, (1981).

[25] National Research Council (U.S.A.), **Indoor Pollutants**, NTIS Report PB82–180563, (1981).

[26] A.V. Nero and W.W. Nazaroff, **Characterizing the Source of Radon Indoors** in Radiation Protection Dosimetry, 7, 23–39, (1984).

[27] J.A. Pickrell, L.C. Griffies and C.H. Hobbs, **Release of Formaldehyde from Various Consumer Products**, published by the Inhalation Toxicology Research Institute, publication number CPSG 1AG 801463, (1982).

[28] E.C. Riley, G. Murphy and R.L. Riley, **Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School** in American Journal of Epidemiology, 107, 421, (1978).

[29] C.J. Shirtliffe et al., **Formaldehyde Measurements in Canadian Homes Using Passive Dosimeters**, Advances in Chemistry Series No. 210, 161–192, (1985).

[30] J.D. Spengler and K. Sexton, **Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective**, in Science, 221, 9–17, (1983).

[31] Statute Revision Commission of Canada, **Ambient Air Quality Objectives Order, Number 1, Clean Air Act**, Chapter 403 in Consolidated Regulations of Canada, Volume IV, (1978).

[32] Y. Tsuchiya (National Research Council of Canada), private communication, (1987).

[33] A.G. Ulsamer et al., **Workshop on Indoor Air Quality Research Needs**, (1980).

[34] U.S. Environmental Protection Agency, **National Primary Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter** in Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50.6, (1980).

[35] World Health Organization, **Health Aspects Related to Indoor Air Quality**, WHO Report No. 21, (1979).

[36] G.S. Young, J.H. Hagopian and E.R. Hoyle, **Potential Health Effects of Residential Energy Conservation Measures**, NTIS Report PB82-133315, (1981).

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

Some of the definitions listed here are modified versions of definitions published by ASHRAE[3,5]

absorption – an interaction between molecules and electromagnetic radiation in which the molecules take energy from the radiation. Different molecules absorb different energies (or frequencies or wavelengths) of radiation and the process can thus be used to identify chemicals present in air, and to determine the concentrations present. Examples include infrared analysers used to monitor carbon dioxide and carbon monoxide, and colorimetric methods for determining formaldehyde.

accuracy – an indication of how closely the result provided by an instrument corresponds to the true value of the quantity being measured.

adsorption – condensation of a gas or vapor onto the surface of a solid with which it is in contact. The process is used to collect samples of volatile chemicals from the air for identification and measurement purposes.

alpha–particle – one of the particles emitted during radioactive decay. It has atomic weight four and two units of positive electrical charge. Alpha–particles readily become attached to airborne particulates and can thus be inhaled and retained in the lungs. Alpha–particles do not penetrate body tissue effectively.

ambient air – the air around us – is composed of nitrogen (78.1%), oxygen (20.9%) and argon (0.9%), with less than 0.1% concentration of all other gases combined.

arithmetic mean – of a series of n measurements is calculated by summing the values of the measurements and dividing the sum by n.

beta–particle – the name given to an electron created and emitted during radioactive decay. This particle is more than five thousand times lighter than an alpha–particle, and has one unit of negative electrical charge.

calibration – two calibration procedures are possible depending on the instrument type:

(1) When an instrument is designed to give direct readout of measured values on a digital or analogue scale, the calibration procedure involves adjustment of the scale to match a known value provided by a calibration standard;

(2) When an instrument yields readings on an arbitrary scale rather than the required measured values, the calibration procedure involves using several calibration standards to obtain a correlation between the instrument readout and known values of measurements. Usually this correlation is displayed as a calibration curve or graph.

contaminant – an airborne substance that may reduce the acceptability of air containing it.

gamma–particle (gamma–ray) – a type of electromagnetic radiation produced during radioactive decay. Gamma–rays are similar to x–rays but carry more energy.

gas – a state of matter in which substances exist in the form of single, nonaggregated molecules. Gases obey the ideal gas laws within acceptable limits of accuracy. Ambient air is a gas according to this definition.

geometric mean – of a series of n measurements is defined as the n'th root of the product of the n measurements. It is used in place of the arithmetic mean in situations where measurements yield widely varying results because it prevents extreme values from strongly affecting the average. Average particulate diameters or weights are frequently expressed as geometric means.

half–life – the time period during which a radioactive material loses one half of its radioactivity.

ideal gas laws – these express the relationship between volume, pressure, temperature and weight for a gas or a mixture of gases. They are fairly accurate for gases, and work reasonably well for some vapours at low concentrations, but are not applicable to particulates. These laws are used to convert values of gas concentrations from weight–per–volume units (such as μg/L) to volume–per–volume units (such as ppm).

micrograms per litre (μg/L) – a unit of measurement used for defining concentrations of particulates or gases in air.

micrograms per cubic metre (μg/m³) – 1 000 μg/m³ = 1 μg/L

milligrams per cubic metre (mg/m³) – 1 mg/m³ = 1 μg/L; 1 mg/m³ = 1 000 μg/m³

part per billion (ppb) – unit of measurement used for gases present in the air in very low concentration. A pollutant concentration of 2 ppb indicates that there are two units of volume of pollutant out of every billion such units of air. 1 000 ppb is equivalent to a concentration of 1 part per million (ppm).

part per million (ppm) – unit of measurement used for gases present in the air in low concentration. A pollutant concentration of 4 ppm indicates that there are four units of volume of pollutant out of every million such units of air. 10 000 ppm is equivalent to a concentration of 1% by volume.

pico curie per litre (pCi/L) – a unit of measurement frequently used for radon. This unit is exactly the same as the nano curie per cubic meter (nCi/m³). One pCi/L is equivalent to 0.037 nuclear transformations (or alpha–particle decay processes) per second per litre of air. The pCi/L can thus be related to the alpha–particle count rate measured by a radon detector.

precision – an indication of the repeatability of the results obtained when the same measurement is carried out by an instrument many times in succession.

pollutant – an airborne substance that may reduce the acceptability of air containing it.

respirable (suspended) particulates (RSP or RP) – airborne particles which can enter and be retained by the lower respiratory tract and lungs, and which therefore have the potential for causing health problems. Such particles have diameters in the range 0.1 to 5 μm (micrometers) approximately.

total suspended particulates (TSP) – all the particles suspended in a sample of air. In still air the upper size limit of airborne (suspended) particulates is about 20 μm (0.02 mm).

vapour – a substance present in low concentration in a gas (usually air), but which, if present in bulk, would exist as a liquid or a solid at the temperature of observation. Vapours contain aggregated molecules and so do not conform well to the ideal gas laws.

working level (WL) – is equivalent to 100 pCi/L of radon (222Rn) if radon and its daughters are in equilibrium. If equilibrium is not reached (as in well ventilated air where the daughters are removed before they can decay) more radon is required to produce one WL of radioactivity. Although the total amount required is situation-dependent it is frequently assumed to be 200 pCi/L.

working level month (WL month) – an exposure equivalent to 1 WL of alpha-particle radiation experienced continuously over a period of one month.

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATIONS

The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)[1] and the Occupational Safety and Health Administration (OSHA)[9] set standards for the workplace, assuming exposure for an eight-hour day, forty-hour week. As pollutant concentrations fluctuate with time, these standards are expressed in terms of an average exposure, the Time-Weighted Average (TWA). The maximum acceptable exposure is designated the Threshold Limit Value (TLV). For some pollutants standards are also set for shorter exposures at correspondingly higher concentrations.

The American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE)[10] sets standards for residences for continuous twenty-four-hour indoor exposure, but covers only a small number of chemicals. For all other substances ASHRAE cites 10% of ACGIH standard levels (a factor of five to cover the increased time and a factor of two to cover an assumed increase in population vulnerability).

Since there are no standards specifically designed for office buildings, the ASHRAE standards are generally adopted for the office environment.

The ACGIH, OSHA and ASHRAE standards for chemicals important in office buildings are listed in the tables 5.2.1 and 5.2.2.

Substance (units)	ACGIH TWA	OSHA TLV	ASHRAE
carbon dioxide (ppm) comfort standard for offices	5 000	5 000	2 500 1 000
carbon monoxide (ppm) 15 minute TLV	50 400	50	9
formaldahyde (ppm)	1	2	0.4
particulates, TSP ($\mu g/m^3$)	10 000		
particulates, RSP ($\mu g/m^3$)	5 000	5 000	500
radon (WL)			0.027
volatile organic compounds (ppm)	SEE NEXT TABLE		
biological material	NOT APPLICABLE, SEE TEXT		

Table 5.2.1 **Standards for Exposure to Substances Encountered in Indoor Air**

Compound	ACGIH TWA (ppm)	OSHA TLV (ppm)	ASHRAE (ppm)
n-butyl acetate	150		15
acetone	750		75
benzene	10	10	0
carbon tetrachloride	5	10	1
chlorobenzene	75	75	7.5
chloroform - see trichloromethane			
cyclohexane	300	300	30
cyclohexanol	50	50	5
cyclohexanone	25	50	2.5
cyclohexene	300	300	30
decane		100	
1,2 dichlorobenzene	50	50	5
1,4 dichlorobenzene	75	75	7.5
1,1 dichloroethane	200	100	20
1,2 dichloroethylene	200	200	20
dichloromethane	100	500	10
dioxane	25	100	2.5
ethyl benzene	100	100	10
n-hexane	50		5
n-heptane	400	500	40
2-methoxy ethanol	5	25	0.5
methyl cellosolve - see 2-methoxy ethanol			
methyl chloroform - see 1,1,1 trichloroethane			
methyl cyclohexane	400	500	40
methyl isobutyl ketone	50	100	5
naphthalene	10	10	1
octane	300	500	30
pentane	600	1000	60
phenol	5	5	0.5
pyridine	5		0.5
tetrachloroethylene	50	100	5
toluene	100	200	10
1,1,1 trichloroethane	350	350	35
trichloroethylene	50	100	5
trichloromethane	10	50	1
xylene (o-, m-, p-)	100	100	10

Table 5.2.2 **Standards for Exposure for Some Volatile Organic Compounds Commonly Encountered in Indoor Air**

Canadian Indoor Air Quality Standards

Canada does not yet have a set of indoor air standards equivalent to ACGIH, OSHA or ASHRAE. However, the Treasury Board has specified that the ACGIH standards be used for occupational settings in the absence of specific recommendations by Health and Welfare Canada. Public Works Canada uses ASHRAE standards for all office buildings. Some specific Canadian standards are listed below.

Formaldehyde : Health and Welfare Canada guideline : 0.1 ppm

Radon : Atomic Energy Control Board (AECB) : 0.05 WL
: Health and Welfare Canada : 0.02 WL

Outdoor Standards

Some of the pollutants which are important indoors have outdoor as well as indoor sources. Outdoor standards for these are listed below.

The Canadian Ambient Air Quality Objectives[31] for carbon monoxide are as follows:

Desirable range 0–5 ppm (average over twenty four hours)
Acceptable range 5–12.5 ppm (average over eight hours)
Acceptable range 12.5–30 ppm (average over one hour)

Canadian Ambient Air Quality Objectives for suspended particulate matter suggest that the acceptable range over twenty four hours should be 0–120 $\mu g/m^3$, while the annual geometric mean should be 60–70 $\mu g/m^3$.

The USA twenty–four hour Ambient Air Quality Standard for total suspended particulates (not to be exceeded more than once a year) is 260 $\mu g/m^3$, while the annual geometric mean should be no more than 75 $\mu g/mg^3$ [34].

Standards for Biological Material

None of the agencies regulating air quality have issued standards for indoor air concentrations of any moulds or bacterial species.

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des polluants

Document D01

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des polluants

Document D01

SAG 1-4:86-22

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, Ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document ÉVALUATION DES POLLUANTS	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-22
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) G. Kerr	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D01
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-458, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 92
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Ce document définit les causes de pollution de l'air ambient dans les environnements conditionnés ainsi que les problèmes associés à chacun des polluants. Les différents niveaux d'analyse impliqués dans l'évaluation d'un immeuble sont décrits ici à partir d'observation ne demandant aucun équipement à celle utilisant des instruments complexes de mesure. Chaque description d'essais est accompagnée d'une liste de normes et de lignes directrices appliquables à la qualité de l'air. Une bibliographie complète est également présentée à la fin de ce document. Les polluants discutés ici, sont : monoxide de carbone, bioxide de carbone, formaldéhyde, particules, radon, composés organiques volaliles, et matériaux biologiques. Les sources et les aires communément affectées par chacun de ces polluants représentent le point de départ pour toute inspection. Ce document donne au lecteur une connaissance générale des méthodes de mesure et des procédures d'évaluation pour estimer la polluation de l'air dans les immeubles.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D01	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

	PRÉFACE	*xi*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	But et objectifs	*1*
1.2	Information de base	
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	*5*
2.1	Cadre général	*5*
2.2	Limites des techniques d'évaluation	*7*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*8*
3.1	Bioxyde de carbone	*8*
3.1.1	Étape I – Évaluation préliminaire	*8*
3.1.1.1	Description des techniques	*8*
3.1.1.2	Équipement	*9*
3.1.1.3	Démarche détaillée	*9*
3.1.1.4	Évaluation	*10*
3.1.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*11*
3.1.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	*11*
3.1.2	Étape II – Techniques simples de mesure	*11*
3.1.2.1	Description des techniques	*11*
3.1.2.2	Équipement	*11*
3.1.2.3	Démarche détaillée	*12*
3.1.2.4	Évaluation	*13*
3.1.2.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*13*
3.1.2.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	*13*
3.1.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	*13*
3.1.3.1	Description des techniques	*13*
3.1.3.2	Équipement	*15*
3.1.3.3	Démarche détaillée	*15*
3.1.3.4	Évaluation	*17*
3.1.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*20*
3.1.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	*20*
3.2	Monoxyde de carbone	*21*
3.2.1	Étape I – Évaluation préliminaire	*22*
3.2.1.1	Description des techniques	*22*

3.2.1.2	Équipement	22
3.2.1.3	Démarche détaillée	22
3.2.1.4	Évaluation	24
3.2.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	25
3.2.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	26
3.2.2	Étape II – Techniques simples de mesure	26
3.2.2.1	Description des techniques	26
3.2.2.2	Équipement	26
3.2.2.3	Démarche détaillée	26
3.2.2.4	Évaluation	27
3.2.2.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	29
3.2.2.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	29
3.2.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	29
3.2.3.1	Description des techniques	29
3.2.3.2	Équipement	29
3.2.3.3	Démarche détaillée	30
3.2.3.4	Évaluation	32
3.2.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	33
3.2.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	33
3.3	Formaldéhyde	33
3.3.1	Étape I – Évaluation préliminaire	34
3.3.1.1	Description des techniques	34
3.3.1.2	Équipement	34
3.3.1.3	Démarche détaillée	35
3.3.1.4	Évaluation	35
3.3.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	36
3.3.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	36
3.3.2	Étape II – Techniques simples de mesure	36
3.3.2.1	Description des techniques	36
3.3.2.2	Équipement	36
3.3.2.3	Démarche détaillée	36
3.3.2.4	Évaluation	37
3.3.2.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	37
3.3.2.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	37
3.3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	37
3.3.3.1	Description des techniques	37
3.3.3.2	Équipement	39
3.3.3.3	Démarche détaillée	40

3.3.3.4	Évaluation	41
3.3.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	42
3.3.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	42
3.4	Matières particulaires	42
3.4.1	Étape I – Évaluation préliminaire	45
3.4.1.1	Description des techniques	45
3.4.1.2	Équipement	45
3.4.1.3	Démarche détaillée	45
3.4.1.4	Évaluation	46
3.4.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	47
3.4.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	48
3.4.2	Étape II – Techniques simples de mesure – sans objet	
3.4.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	48
3.4.3.1	Description des techniques	48
3.4.3.2	Équipement	48
3.4.3.3	Démarche détaillée	48
3.4.3.4	Évaluation	50
3.4.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	50
3.4.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	50
3.5	Radon	52
3.5.1	Étape I – Évaluation préliminaire	53
3.5.1.1	Description des techniques	53
3.5.1.2	Équipement	54
3.5.1.3	Démarche détaillée	54
3.5.1.4	Évaluation	54
3.5.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	55
3.5.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	55
3.5.2	Étape II – Techniques simples de mesure	55
3.5.2.1	Description des techniques	55
3.5.2.2	Équipement	55
3.5.2.3	Démarche détaillée	55
3.5.2.4	Évaluation	55
3.5.2.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	57
3.5.2.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	57
3.5.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	57
3.5.3.1	Description des techniques	57
3.5.3.2	Équipement	58

3.5.3.3	Démarche détaillée	58
3.5.3.4	Évaluation	60
3.5.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	60
3.5.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	60
3.6	Composés organiques volatils	60
3.6.1	Étape I – Évaluation préliminaire	61
3.6.1.1	Description des techniques	61
3.6.1.2	Équipement	61
3.6.1.3	Démarche détaillée	61
3.6.1.4	Évaluation	66
3.6.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	67
3.6.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	67
3.6.2	Étape II – Techniques simples de mesure – sans objet	
3.6.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	68
3.6.3.1	Description des techniques	68
3.6.3.2	Équipement	69
3.6.3.3	Démarche détaillée	70
3.6.3.4	Évaluation	73
3.6.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	73
3.6.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	73
3.7	Matières biologiques	73
3.7.1	Étape I – Évaluation préliminaire	76
3.7.1.1	Description des techniques	76
3.7.1.2	Équipement	76
3.7.1.3	Démarche détaillée	76
3.7.1.4	Évaluation	77
3.7.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	
3.7.1.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	78
3.7.2	Étape II – Techniques simples de mesure – sans objet	
3.7.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	78
3.7.3.1	Description des techniques	78
3.7.3.2	Équipement	79
3.7.3.3	Démarche détaillée	79
3.7.3.4	Évaluation	80
3.7.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	80
3.7.3.6	Documentation : établisssement et classement des documents de travail	81
4.	**RÉFÉRENCES**	82

5.	**ANNEXES**	85
5.1	Termes et unités de mesure standard	85
5.2	Autorités compétentes et réglementation applicable	87
5.3	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	91

LISTE DES FIGURES

3.1.1	Bioxide de carbone (CO_2) – Fiche technique pour mesures simples	14
3.1.2	Profil de la variation de la transmission infrarouge en fonction de la distance optique parcourue à l'aide de l'analyseur Miran 1A	16
3.1.3	Exemple de courbe d'étalonnage pour l'analyseur Miran 1A : CO_2	16
3.1.4	Variation de la concentration de dioxyde sur une période de 24 heures	19
3.1.5	CO_2 – Courbe de corrélation de la ventilation	20
3.1.6	Bioxide de carbone (CO_2) – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé	21
3.2.1	Monoxyde de carbone (CO) – Fiche technique pour mesures simples	28
3.2.2	Courbe d'étalonnage pour l'analyseur Miran 1A : CO	31
3.2.3	Monoxyde de carbone (CO) – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé	32
3.3.1	Formaldéhyde – Fiche technique pour les détecteurs passifs	38
3.4.1	Matières particulaires respirables – fiche technique	51
3.5.1	Les étapes de dégradation de l'Uranium (U) et du Thorium (Th) lors de la production de deux formes différentes de Radon	52
3.5.2	Radon – Fiche technique à utiliser avec les détecteurs passifs	56
3.5.3	Radon – Fiche technique concernant tout étalonnage pour le monitorage détaillé et spécialisé	59
3.5.4	Radon – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé	60
3.6.1	Composés organiques volatils – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé	72

LISTE DES TABLEAUX

3.4.1	Plage des dimensions de certains types de matières particulaires atmosphériques communes	43
3.5.1	Facteurs de Kusnetz permettant de calculer les niveaux opérationnels	60
3.6.1	Liste de certaines substances chimiques et de leurs sources communément détectées à l'intérieur des immeubles	63
3.6.2	Normes relatives d'exposition à certains composés organiques volatils communément détectés à l'intérieur des immeubles	67
3.6.3	Normes relatives d'exposition à certains composés organiques volatils communément détectés dans l'air ambient des immeubles	74
5.2.1	Normes relatives d'exposition à des substances présentes dans l'air ambient des immeubles	88
5.2.2	Normes relatives d'exposition à certains composés organiques volatils communément détectés dans l'air ambient des immeubles	89

PRÉFACE

Le présent document (classe D) traite des essais utilisés à la Division du rendement des immeubles pour contrôler des polluants atmosphériques spécifiques. Par leur conception, les essais permettent de localiser les sources de polluants, de mesurer la concentration de ces derniers aux endroits appropriés dans les immeubles et d'évaluer l'importance des observations. Sept types d'essais sont décrits, soit cinq portant sur des substances chimiques, un sur les matières particulaires atmosphériques et un autre sur les espèces biologiques. Les essais ont été choisis en fonction de la fréquence d'occurrence du polluant, de sa toxicité et des craintes qu'il suscite dans le grand public. Suit une brève justification de l'inclusion de chacun de ces essais.

On considère généralement le **bioxyde de carbone** comme inoffensif car il est omniprésent et qu'il est un constituant de l'air ambiant et un produit du métabolisme humain. Des observations indiquent cependant que des concentrations bien inférieures à celles dangereuses pour la santé humaine peuvent entraîner des malaises et influer sur la productivité des employés travaillant dans les immeubles à bureaux. En outre, on a noté que les concentrations locales de dioxyde de carbone sont des indicateurs sensibles de l'efficacité de la ventilation.

Contraitement au dioxyde de carbone, le **monoxyde de carbone** est extrêmement toxique et entraîne chaque année un certain nombre de décès en Amérique du Nord. Dans l'organisme, il nuit au transport de l'oxygène par le sang vers le cerveau et les muscles; des concentrations assez faibles présentent des effets mineurs chez les personnes exposées. Il s'agit d'un des rares polluants atmosphériques intérieur trouvant sa source à l'extérieur des immeubles, tout en ayant plusieurs sources potentielles à l'intérieur.

Le **formaldéhyde** se rencontre souvent à l'intérieur d'un immeuble à cause de son utilisation dans la fabrication de beaucoup de matériaux entrant dans les structures et les meubles. Cette substance dégage une forte odeur, irrite les yeux et, à des concentrations assez faibles, affecte les voies respiratoires supérieures aussi bien que les voies respiratoires inférieures. Sa présence peut entraîner des allergies respiratoires et des allergies cutanées; il peut s'agir d'un agent cancérogène.

L'expression **"matières particulaires"** englobe la fumée, les poussières atmosphériques, les fibres telles l'amiante et les particules microscopiques vivantes comme le pollen et les bactéries. Les matières particulaires sont craintes parce que celles d'une certaine taille peuvent être emprisonnées dans le système respiratoire de l'humain et entraîner des allergies et des maladies.

Le **radon** est actuellement une substance chimique d'intérêt particulier, car on l'a rendu responsable de l'apparition de cancer chez des mineurs travaillant dans des

mines d'uranium. Il existe en quantités variables dans tous les sols et toutes les eaux souterraines ainsi que dans la plupart des matériaux de construction. La probabilité de le retrouver dans les immeubles est donc élevée.

L'expression **"composés organiques volatils"** recouvre plusieurs milliers de substances chimiques, la plupart d'origine anthropique. À l'intérieur des immeubles, ces substances ont une multitude de sources, entre autres, les gaz libérés par certains matériaux de construction et la plupart des meubles. Il s'agit aussi de composantes de beaucoup de matériaux modernes de nettoyage et de décoration. Par conséquent, une variété de ces composés se retrouve dans tous les immeubles à bureaux. La surexposition à ces produits entraîne, entre autres, des allergies et des problèmes respiratoires. Certaines substances organiques volatiles ont aussi des odeurs incommodantes. Dans les gros immeubles, il arrive souvent qu'il n'y ait aucune substance chimique prédominante, même si de faibles concentrations d'un grand nombre de substances sont présentes. Cette situation complique la tâche, mais il importe de recueillir davantage de données car les effets des combinaisons de substances chimiques ne sont pas encore bien connus.

Les **matières biologiques**, telles que les bactéries, les levures et les moisissures, peuvent se reproduire dans l'eau ou les endroits humides associés aux systèmes mécaniques et, par la suite, être distribuées dans tout l'immeuble par le système d'aération. La recherche de ces substances est importante car certaines d'entre elles, par exemple une bactérie du genre **Legionella**, peuvent être fatales.

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

La gestion, l'entretien et le fonctionnement des immeubles à bureaux utilisés par les employés du gouvernement fédéral comptent parmi les principales responsabilités de Travaux publics Canada. Pour faciliter ces tâches et permettre l'acquisition de données qui pourraient servir à améliorer les techniques de conception et de construction, la Division du rendement des immeubles a mis au point une méthode holistique permettant d'évaluer le rendement des immeubles à bureaux. Cette méthode, dite du rendement immobilier global, se base sur la mesure de paramètres dans sept catégories différentes du rendement, dont les interactions sont incorporées dans l'évaluation du rendement global. Ces catégories sont : la qualité de l'air, la qualité acoustique et auditive, l'intégrité du bâtiment, l'efficacité énergétique, la qualité de l'usage fonctionnel, la qualité thermique, et la qualité visuelle. Il est possible de trouver une description plus détaillée du rendement immobilier global dans les documents de classe A de la présente série.

Le présent document décrit des méthodes permettant de mesurer des paramètres se rapportant à la qualité de l'air, qui consistent pour la plupart en des concentrations de polluants dans l'air ambiant. Il est destiné à servir de directives sur la localisation des sources de polluants, à établir une méthode fiable de mesurage de la concentration des polluants et à définir les répercussions des autres paramètres, tels que la ventilation ou les matériaux structuraux, sur la qualité de l'air.

1.2 INFORMATION DE BASE

Selon toute probabilité, l'immeuble à bureaux examiné est un immeuble à plusieurs étages situé dans un environnement urbain. Il peut comprendre une plate-forme de chargement et un stationnement intérieur. Les fenêtres ne peuvent probablement pas s'ouvrir et toute la ventilation se fait au moyen de systèmes mécaniques. L'air qui y circule est chauffé, refroidi et climatisé à un degré déterminé par la température, le code du bâtiment, des contraintes d'utilisation de l'énergie, etc. Le traitement de l'air peut comprendre l'humidification en hiver, la déshumidification en été et la filtration pour éliminer les matières particulaires. L'air est amené aux postes de travail par un système complexe de conduites, de ventilateurs, de diffuseurs, etc.; il est éliminé par un système d'évacuation analogue. Habituellement, une portion de l'air utilisé est recyclée après addition d'air frais prélevé à l'extérieur. L'importance de la portion recyclée varie selon la saison.

Une cause importante d'une mauvaise qualité de l'air est la présence dans celui-ci de substances chimiques (et, parfois, biologiques) qui sont décrites comme étant des polluants ou des contaminants. Ces substances sont souvent dites toxiques. Cependant, beaucoup d'entre elles ne sont pas délétères lorsque présentes en très petites quantités. Dans ce cas, il est important de connaître la concentration critique, c'est-à-dire la concentration atmosphérique où elle devient toxique pour les personnes. Un certain nombre d'organismes gouvernementaux et privés ont émis des normes concernant les

teneurs critiques de diverses substances chimiques. Les normes observées par Travaux publics Canada sont listées pour chaque contaminant dans la section appropriée du présent document; l'appendice 5.2 comprend une description complète des normes et de leur signification ainsi que le nom des organisations qui les ont émises. La concentration des polluants dans les immeubles s'évalue normalement en termes d'importance des concentrations vis-à-vis une ou plusieurs normes.

Les polluants atmosphériques présents dans un immeuble à bureaux peuvent venir de diverses sources, tant intérieures qu'extérieures. Les sources intérieures, qui nous intéressent davantage, se divisent en quatre catégories décrites brièvement ci-dessous :

- structure de l'immeuble, qui comprend l'enveloppe (toit, murs extérieurs, portes, fenêtres), les murs intérieurs, les planchers, les plafonds, les ascenseurs, les conduits, les tuyaux et les câbles;
- les biens meubles soit, dans un bureau typique : tapis, tuiles de plafond, colles pour les fixer, peintures, rideaux, cloisons, bureaux, chaises, classeurs et divers menus articles. Un point sur lequel il faut insister est le fait que la grande variété des biens meubles utilisés entraîne la présence d'un très grand nombre de substances chimiques différentes dans l'air, la plupart en très petites quantités, ce qui les rend difficiles à identifier;
- les occupants. Les polluants les plus importants produits par les personnes sont le bioxyde de carbone, qui est un produit normal du métabolisme, et la fumée de tabac;
- les activités normales ayant lieu à l'intérieur de l'immeuble, entre autres : fonctionnement des systèmes mécaniques, nettoyage et entretien général de l'immeuble, manutention de papiers et utilisation de machines à écrire, de photocopieuses et d'ordinateurs personnels dans les bureaux; il existe aussi des activités spécialisées qui n'ont pas lieu dans tous les immeubles, par exemple, travaux d'imprimerie, cuisson (cafétéria), stockage de substances chimiques et fonctionnement des installations de loisir ou des laboratoires.

Des détails sur chacun des contaminants et sur leurs sources sont donnés dans les sections suivantes du présent document. Au cours de l'examen d'un immeuble, il est sage de se rappeler que la plupart des contaminants peuvent avoir plusieurs sources. Par exemple, le monoxyde de carbone peut venir de la fumée de cigarette produite dans les bureaux, d'un stationnement intérieur (par les portes, les puits d'ascenseurs, etc.) ou de l'extérieur lorsque la prise d'air frais est située près d'une rue passante. S'il peut être facile d'identifier les principales sources – par exemple, un stationnement – il peut s'avérer difficile de localiser les sources moins évidentes et moins importantes.

La localisation des sources de contaminants est une partie importante d'un examen de la qualité de l'air; il est toutefois nécessaire de tenir compte aussi des pratiques de gestion immobilière qui influent sur la concentration des contaminants. La conservation de l'énergie peut contribuer beaucoup aux problèmes de qualité de l'air, car elle peut entraîner une diminution de la quantité d'air frais admis dans l'immeuble et, par conséquent, une augmentation générale des teneurs en polluants dans l'air recyclé. Le système de ventilation peut être lui-même en partie responsable du problème. Les systèmes mécaniques utilisés dans les grands immeubles sont complexes et renferment

beaucoup de composantes. Des erreurs de conception, d'installation et d'opération ou le mauvais fonctionnement des composantes peuvent entraîner localement des points morts où l'air circule mal ou ne circule pas du tout et, une augmentation des concentrations de contaminants prend naissance.

La qualité de l'air des immeubles est, de toute évidence, reliée directement aux concentrations de polluants présentes. Il est cependant nécessaire de prendre en considération des facteurs qui influent sur la perception que les gens ont de la qualité de l'air. Parmi ceux-ci, l'un des plus importants est la qualité thermique (confort thermique). L'augmentation de la température et de l'humidité relative, en particulier lorsque les déplacements d'air sont faibles, peut faire qu'on perçoit l'air de bonne qualité comme étant une atmosphère stagnante ou viciée. Un autre facteur important, le stress, entraîne chez l'occupant plusieurs symptômes qui affectent le système respiratoire et souvent la qualité de l'air est blâmée. Toutefois, le stress peut avoir bien des origines. En plus des causes psychologiques reconnues – par exemple, le manque de satisfaction de son travail et une maîtrise inadéquate de son environnement –, le stress peut avoir des causes matérielles – par exemple, une mauvaise qualité de l'air, le ronronnement (parfois inaudible) des systèmes mécaniques (stress acoustique) un éclairage trop faible ou trop fort pour la tâche effectuée (stress visuel).

La mauvaise qualité de l'air, qu'elle soit réelle ou perçue comme telle, est à l'origine de beaucoup des plaintes concernant les immeubles à bureaux. Lorsque les plaintes sont assez nombreuses ou que les répercussions sur la santé sont assez graves, une enquête peut être entreprise. Au cours des dix dernières années, plus de mille enquêtes de ce genre ont été effectuées et ont fait l'objet de rapports. Dans presque tous les immeubles, des symptômes analogues font jour; l'expression "syndrome des édifices à bureaux" sert à décrire ce phénomène. Ces symptômes sont aussi dits "syndrome des immeubles étanches" lorsque l'enveloppe de l'immeuble examiné est étanche à l'air et que les fenêtres sont scellées. D'après les conclusions tirées à la suite des enquêtes, le système de ventilation est responsable des problèmes dans la moitié des cas environ; la responsabilité incombe à des contaminants spécifiques dans à peu près le quart des cas. Cependant, dans un certain nombre de cas, aucune cause définie n'a été trouvée.

Les renseignements recueillis au cours des études du "syndrome des édifices à bureaux" et du rendement immobilier global permettent de tirer plusieurs conclusions quant à la façon d'enquêter sur un immeuble à bureaux. Normalement, un grand nombre de polluants sont présents. Chacun des symptômes observés peut être induit par plusieurs de ces contaminants. De plus, les symptômes ne sont pas spécifiques et, par conséquent, ne sont pas très utiles pour fins de diagnostic. Une enquête ne devrait donc pas reposer uniquement sur l'analyse des plaintes et des symptômes, mais faire intervenir des mesures de la concentration et des essais. L'importance de la concentration des polluants est évidente quand il s'agit de distinguer entre les problèmes de qualité de l'air qui sont réels et ceux qui sont dus à la perception. Parmi les problèmes dont la réalité est établie, ceux attribués directement à une mauvaise ventilation sont en un nombre, devraient toujours être testés, les systèmes mécaniques, la circulation de l'air, ainsi que l'efficacité de la ventilation aux postes de travail contrôlées. Enfin, le nombre de cas non résolus nous informe qu'une enquête sur la

qualité de l'air doit toujours être effectuée avec soin et en toute ouverture d'esprit en ce qui concerne les causes possibles.

Il est probable que la première personne qui s'occupe des plaintes concernant la qualité de l'air dans un immeuble soit l'exploitant ou le gérant de l'immeuble en question. Pour l'exploitant ou pour tout autre responsable de la gestion quotidienne de l'édifice, la façon la plus efficace de solutionner le problème consiste à effectuer une enquête préliminaire comprenant des mesures simples. Le but est de trouver une cause aux plaintes ou, si cela est impossible, à indiquer les endroits sur lesquels devrait se concentrer un examen plus poussé. Bien que la mesure et l'évaluation des autres types de paramètres (par exemple, la température) ne demandent aucune formation, les techniques de mesure de la qualité de l'air et l'importance des données recueillies ne sont pas comprises par un grand nombre de personnes. Le présent document donne des renseignements qui, nous l'espérons, amélioreront la compréhension de plusieurs aspects de la qualité de l'air dans les immeubles. Son objet à long terme est de rendre les personnes responsables des grands immeubles à bureaux capables d'effectuer des enquêtes restreintes concernant des problèmes attribués à la qualité de l'air tout en ayant un degré de succès acceptable.

La prochaine section décrit l'examen d'un immeuble à bureaux selon l'approche du rendement immobilier global. Elle renferme une discussion des limites de cette approche et du degré d'expérience nécessaire pour procéder aux diverses parties de l'enquête. Les sections qui suivent donnent des détails concernant chacun des polluants et les méthodes utilisées pour mesurer leur concentration.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

L'examen d'un immeuble ou d'une partie d'un immeuble comporte trois étapes : l'évaluation préliminaire, les mesures simples et le monitorage détaillé et spécialisé spécifiques au rendement environnemental, ces étapes servent à la détermination de toutes les catégories de rendement. Leur application à la qualité de l'air est décrite ci–dessous ainsi que leurs relations avec les autres paramètres du rendement et leurs répercussions sur ceux–ci.

L'évaluation préliminaire consiste en la cueillette de renseignements qui pourraient aider à identifier les polluants, en localisant leurs sources et en définissant la nature et la gravité des problèmes qui se posent. Il est possible d'obtenir des renseignements en consultant les plans de l'immeuble ou le registre des plaintes, en inspectant diverses parties de l'immeuble et en interrogeant, entre autres, les occupants et le gérant de l'immeuble. Aucune mesure avec un instrument n'est faite à cette étape. Le mode d'évaluation préliminaire le plus important et, probablement, le plus efficace consiste en une tournée d'inspection par un expert accompagné du responsable de l'immeuble. La tournée peut être faite par une personne non spécialisée, à la condition qu'elle soit munie d'une liste d'observations à noter et de questions à poser. On trouvera dans les autres chapitres du présent document les listes à utiliser pour chacun des divers polluants.

Bien qu'elle ne produise aucune donnée quantitative, l'évaluation préliminaire devrait, comme nous l'avons déjà dit, fournir des renseignements qualitatifs utiles qui permettront au responsable de l'enquête de choisir les endroits convenant aux essais avec des instruments, qu'il s'agisse de mesures simples ou de mesures complexes.

Les mesures simples sont à la portée de personnes assez peu qualifiées ayant reçu un minimum de formation (par exemple, le gérant ou le responsable d'un immeuble ayant reçu des plaintes concernant la qualité de l'air). Ces mesures s'effectuent facilement et rapidement. Il est prévu que les données recueillies pourront dans certains cas, mais pas nécessairement dans tous les cas, prouver ou confirmer la présence dans l'air de teneurs dangereuses en polluants. Lorsqu'aucune solution évidente n'est obtenue, il peut être nécessaire de procéder à des mesures complexes pour résoudre le problème.

La Division du rendement des immeubles est en train de préparer une trousse d'essai qui comprend l'équipement nécessaire pour effectuer plusieurs mesures simples de la qualité de l'air et de la qualité thermique (confort thermique). Lorsqu'elle sera complète, cette trousse sera disponible dans les régions. Les instruments faisant partie de la trousse sont soumis actuellement à des essais; c'est là la raison pour laquelle il n'est pas encore possible d'inclure dans le présent document de technique simple de mesure de certains polluants.

Par définition, les techiques complexes sont plus compliquées que les autres. Toutefois, elles ont normalement des avantages qui contrebalancent le temps et les dépenses supplémentaires entrainés par l'utilisation d'instruments complexes. Ces avantages appartiennent habituellement à une des catégories suivantes au moins :

- amélioration de la sensibilité, c'est-à-dire possibilité de mesurer des quantités plus petites. Cet avantage est important car les immeubles à bureaux renferment normalement des quantités faibles de diverses substances chimiques, plutôt que de fortes concentrations d'un seul polluant. Les concentrations présentes peuvent donc être inférieures à la limite de détection des instruments simples conçus pour fonctionner dans un environnement industriel;
- amélioration de la justesse, c'est-à-dire de la confiance dans les résultats obtenus;
- résolution temporelle, c'est-à-dire la possibilité d'obtenir le profil de la concentration d'un polluant sur une période de temps, par exemple sur 8 ou 24 heures. Les techniques simples permettent généralement de trouver soit une concentration momentanée, soit la concentration moyenne sur une période donnée;
- amélioration des renseignements obtenus, par exemple, possibilité d'identifier et de mesurer les concentrations séparément les substances chimiques présentes dans l'air, plutôt que d'obtenir simplement un nombre représentant les effets combinés de beaucoup de substances, ce qui est utile lorsque chaque substance a une toxicité très différente:
- la forme des résultats obtenus permet mieux leur comparaison avec les normes;
- il n'existe aucune méthode permettant des mesures simples.

Pour effectuer les mesures complexes, il faut normalement des personnes ayant une expérience technique. Par conséquent, il est prévu que des consultants seront obligés d'effectuer les tests. Toutefois, les techniques sont décrites en entier afin de fournir aux gérants de projet assez de renseignements pour mettre au point un cadre de travail approprié.

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, l'évaluation du rendement immobilier global fait intervenir des interactions entre les diverses catégories de rendement couvertes par un examen. Le présent document porte sur l'identification des sources de contaminants et le dosage de ces derniers, mais il indique aussi les répercussions sur les autres paramètres du rendement. Il est possible de trouver dans les autres documents de classe D listés au chapitre 5.3 plus de renseignements sur les essais utilisés pour déterminer ces paramètres supplémentaires.

L'évaluation préliminaire est une opération informelle permettant de localiser le problème. Une partie du prélèvement des données se fait de la même façon que lorsque les études plus formelles sont effectuées par le groupe du rendement fonctionnel de la Division du rendement des immeubles. Toutefois, leurs buts sont assez différents. Par exemple, en rendement fonctionnel, les endroits choisis pour les essais sont représentatifs de l'ensemble de l'immeuble de sorte que les données recueillies puissent être analysées statistiquement. Par contre, les endroits choisis pour procéder aux essais d'évaluation préliminaire le sont en fonction de la probabilité de trouver des renseignements utiles sur des polluants. L'évaluation préliminaire est donc un complément des études du groupe du rendement fonctionnel, plutôt qu'une répétition de ses activités. La liste des documents de classe D pertinents en rendement fonctionnel est donnée au chapitre 5.3.

2.2 LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

Certaines des limites imposées par la division des essais en trois étapes ont été indiquées ci-dessus : même si l'évaluation préliminaire donne un aperçu de la situation dans l'immeuble, elle ne permet pas d'obtenir des données numériques comparables aux normes; bien que les mesures simples soient faciles à effectuer, elles ne donnent pas toujours des réponses définitives; finalement, pour effectuer les mesures complexes, il faut du temps et de l'argent.

Quelle que soit la technique utilisée, qu'il s'agisse de mesures simples ou de mesures complexes, il faut tenir compte des limites des instruments employés. Le rendement d'un instrument est généralement défini en fonction de l'erreur possible sur les mesures effectuées. Il existe deux types d'erreurs influant soit sur la précision, soit sur l'exactitude des mesures. La précision est un critère de constance qui reflète la répétabilité des résultats obtenus lorsque la même mesure est prise avec un même instrument plusieurs fois de suite. L'exactitude est une indication de l'étroitesse entre les résultats fournis par un instrument et la valeur vraie de la quantité mesurée. En général, la précision est fonction de la méthode employée et de la conception de l'instrument employé; quant à l'exactitude, elle dépend souvent de la méthode d'étalonnage et des matières dosées. Les sources d'erreurs sont souvent multiples et doivent être combinées pour donner l'erreur globale. Si les erreurs sont d'origine indépendante, le calcul est simple : les erreurs sont toutes exprimées dans le même système d'unités, elles sont élevées au carré et additionnées et la racine carrée de cette somme est calculée. L'une des conséquences de cette façon de procéder est que lorsque deux erreurs diffèrent d'un facteur de cinq, la plus petite des deux peut souvent être ignorée.

Une autre limite des instruments touche à leur seuil de détection, c'est-à-dire la quantité la plus faible d'une substance qui soit décelable par l'instrument. Comme les concentrations de polluants sont généralement plus faibles dans les immeubles à bureaux qu'en milieu industriel, les normes concernant le seuil de détection des instruments utilisés sont plus strictes. Il est possible de perdre des renseignements ayant une utilité éventuelle lorsque les mesures se font avec des instruments ayant une plage de détection impropre.

En général, les instruments servant aux mesures simples ont l'avantage d'être facilement utilisables; cependant, cet avantage peut être contrebalancé par un manque d'exactitude ou de précision ou par un seuil de détection trop élevé.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 BIOXYDE DE CARBONE

Le bioxyde de carbone (formule moléculaire : CO_2, masse moléculaire : 44), est un gaz inodore et incolore. C'est une des composantes normales de l'air ambiant, en plus de l'azote, de l'oxygène et de l'argon. Dans la nature, il est produit principalement par l'activité volcanique et la décomposition des minéraux carbonatés; sa concentration est assez constante de par le monde, soit de 300–350 ppm. Les ppm sont définis à l'appendice 5.1.

À l'intérieur, le bioxyde de carbone est produit principalement par le brûlage de combustibles fossiles ainsi que par le métabolisme humain et le métabolisme animal. Dans la plupart des immeubles à bureaux, les humains constituent la source unique. Chaque personne expire du bioxyde de carbone à raison d'environ 0,3 litre par minute[5]. Les teneurs présentes dans les bureaux, habituellement dans la plage allant de 500 à 1500 ppm, sont fonction d'une combinaison de la densité en occupants, de l'étanchéité de l'immeuble et de l'efficacité de la ventilation. Le rapport avec la ventilation a été étudié à fond et accepté récemment comme la base pour l'établissement de taux approximatifs efficaces d'admission d'air frais dans les immeubles. Le paragraphe 3.1.3.4 comprend une discussion plus poussée sur ce sujet.

L'exposition à des concentrations modérées (1000–5000 ppm) de cette substance peut entraîner des maux de tête et une somnolence. De plus, l'exposition continue pendant plusieurs semaines à ces concentrations peut modifier l'équilibre acide–base dans l'organisme, car le bioxyde de carbone est une substance acide. Il s'ensuit des symptômes de stress, dont il est cependant possible de renverser graduellement les effets lorsque l'exposition est interrompue[35]. Les effets plus graves associés à l'exposition à des concentrations dépassant 5000 ppm ne sont pas à considérer, car des concentrations aussi importantes ne se rencontrent pas dans les immeubles dans des conditions normales.

D'après les renseignements disponibles présentement, le bioxyde de carbone devrait être considéré comme un irritant plutôt que comme un polluant dangereux dans les immeubles à bureaux; il est probable qu'il affecte davantage le confort que la santé. Les paragraphes 3.1.2.4 et 3.1.3.4 ainsi que l'appendice 5.2 donnent en détail les normes concernant le bioxyde de carbone.

3.1.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.1.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir les renseignements concernant l'immeuble. Il est possible de se les procurer par :

- l'étude des plans d'étage de l'immeuble, lorsqu'il sont disponibles,
- l'étude des détails des rénovations,
- la consultation du registre des plaintes déposées concernant la qualité de l'air dans l'immeuble,

- l'inspection de certaines ou de toutes les zones occupées de l'immeuble,
- l'inspection des systèmes mécaniques,
- des discussions ou des entrevues informelles avec des occupants de l'immeuble, et
- l'étude en détail de l'usage et du mode d'exploitation de l'immeuble.

3.1.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses obtenues aux questions posées. Il est utile de se munir de menus articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour enregistrer les renseignements obtenus.

3.1.1.3 Démarche détaillée

Comme les occupants sont presque certainement la seule source de bioxyde de carbone et que les concentrations dans l'immeuble sont déterminées par l'efficacité de la ventilation, la présente partie de l'enquête porte surtout sur la distribution des personnes dans l'immeuble, le déplacement de l'air et le fonctionnement des systèmes mécaniques ainsi que sur les détails contenus dans les plaintes.

Les plans d'étage ainsi que les détails des rénovations indiqueront les zones problèmes potentielles, par exemple :

- aires à bureaux ouvertes transformées en bureaux fermés
- modifications structurales qui ont entrainé un type d'utilisation de l'espace différent de celui indiqué sur les plans (par exemple, la transformation d'une aire à bureaux en une salle d'attente)

Les zones problèmes potentielles peuvent aussi être signalées par des plaintes concernant le manque de ventilation, la stagnation de l'air, les odeurs de renfermé ainsi que des symptômes comme les maux de tête et la fatigue.

Les zones identifiées comme pouvant être à l'origine de problèmes devraient être inspectées et les occupants, questionnés. Il est aussi nécessaire de se procurer des renseignements sur l'utilisation de l'immeuble et sur le fonctionnement des systèmes mécaniques. La liste qui suit indique en détail les renseignements nécessaires.

Liste des points à vérifier concernant les **observations** :

- quelle est la densité d'occupants dans les lieux rénovés?
- est-ce qu'il y a des thermostats dans les bureaux fermés créés à partir d'une aire à bureaux ouverte?
- quelles sont la densité maximale et la densité moyenne d'occupation des pièces occupées passagèrement?
- est-ce que l'alimentation en air (diffuseurs) est opérationnelle?
- est-ce que le système d'évacuation fonctionne adéquatement?
- est-ce que les occupants se sont procurés des ventilateurs pour améliorer la circulation de l'air?

- existe-t-il des modifications au système de ventilation, par exemple, le blocage des grilles?
- quelle sorte d'écrans sert à diviser les aires à bureaux ouvertes?
- quel est le nombre d'écrans utilisés?
- quelle est la position des diffuseurs d'air et des bouches d'évacuation par rapport aux écrans?
- dans les zones faisant l'objet de plaintes, est-ce que tous les occupants se plaignent ou uniquement une ou deux personnes?

Liste de vérification des **systèmes mécaniques** :

- quels sont les types de systèmes mécaniques utilisés dans l'immeuble?
- combien de systèmes différents existe-t-il et quels étages desservent-ils?
- quelle est la variation du taux d'admission d'air frais en fonction de la saison?

Liste de vérification des **plaintes déposées et des questions à poser aux occupants** :

- dans les zones où des rénovations ont eu lieu, est-ce que la densité de population est supérieure à celle d'avant les rénovations?
- est-ce que l'air semble frais?
- est-ce que l'air circule?
- est-ce qu'il y a des courants d'air?
- est-ce qu'il fait trop chaud ou trop froid?
- est-ce que le fonctionnement du système de ventilation semble adéquat?
- quels sont les symptômes ressentis?
- quel est le moment de la journée où l'atmosphère semble le plus viciée?
- quel est le jour de la semaine où l'atmosphère semble le plus viciée?
- le problème de qualité de l'air est-il saisonnier?

3.1.1.4 Évaluation

Les observations faites et les réponses obtenues pendant l'inspection peuvent servir à évaluer la probabilité que les problèmes soient causés par le bioxyde de carbone dans l'une ou l'autre des zones étudiées. Cette probabilité est réelle lorsque :

- le taux maximum ou moyen d'occupation des pièces occupées passagèrement est élevé (les pièces sont occupées assez souvent)
- les rénovations ont entraîné une hausse des densités de population
- les bureaux fermés construits dans des aires à l'origine ouvertes ne comportent pas de thermostat
- dans une aire à bureaux ouverte, les écrans descendent jusqu'au plancher et les diffuseur ainsi que le système d'évacuation sont situés plus haut que le sommet des écrans (il se peut que l'air ne circule qu'au-dessus des écrans)
- les diffuseurs et les bouches d'évacuation sont installés dans le plafond (court-circuitage possible)
- un diffuseur ou la bouche d'évacuation n'est plus fonctionnel parce qu'il(elle) a été bouché(e)

Les symptômes d'une exposition à des teneurs élevées de bioxyde de carbone ne sont pas spécifiques – entre autres, maux de tête et fatigue – et ne peuvent donc pas servir à

diagnostiquer l'origine du problème. Par contre, les plaintes concernant l'environnement peuvent être plus utiles : lorsque les gens qui se plaignent d'une atmosphère stagnante ou viciée, d'un manque de circulation d'air, de l'absence d'air frais, etc. occupent des zones où il y a des indices (voir le paragraphe précédent) de l'existence de problèmes de ventilation, il se pourrait alors que le bioxyde de carbone soit à l'origine de ces plaintes.

La variation des symptômes et des plaintes en fonction du temps peut aussi donner des indices utiles. Les concentrations de bioxyde de carbone ont tendance à être à leur maximum à la fin de la journée de travail; donc, si l'occupant souffre de l'exposition au bioxyde de carbone, il devrait se sentir plus mal vers la fin de l'après-midi. Le problème peut aussi s'aggraver pendant les saisons où l'admission d'air frais est à son minimum.

À l'encontre de certains autres polluants, le bioxyde de carbone peut poser des problèmes très localisés. Par exemple, à cause d'une certaine combinaison de la disposition des meubles et de la ventilation, il se peut que, à un étage donné, un poste de travail ne reçoive pas d'air alors que les autres postes de travail sont desservis adéquatement.

3.1.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Un jour ouvrable environ devrait être alloué à l'évaluation préliminaire d'un immeuble ayant une superficie de 10 000 m². Le temps exact dépendra de la complexité de l'édifice, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes enregistrées.

3.1.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Toutes les fiches techniques et l'enregistrement de toutes les observations et de toutes les réponses obtenues doivent être conservés et classés.

3.1.2 Étape II – Techniques simples de mesure

3.1.2.1 Description des techniques

Le principe du fonctionnement de l'analyseur infrarouge est que le bioxyde de carbone absorbe le rayonnement infrarouge à une longueur d'onde (4,28 micromètres ou µm) différente de celle absorbée par les autres contaminants communs dans l'atmosphère des immeubles. Les proportions du rayonnement de cette longueur d'onde émis par une source infrarouge absorbées par un échantillon d'air peuvent donc servir à mesurer la concentration de bioxyde de carbone dans l'échantillon en question. Comme l'intensité de la source infrarouge varie d'un jour à l'autre, l'instrument doit être étalonné chaque fois qu'il est mis en marche.

3.1.2.2 Équipement

- analyseur infrarouge portatif avec pile, chargeur et câble. Les modèles appropriés sont le ZFP5 de Fuji et l'APCA-210 de Horiba
- gaz inerte (air exempt de bioxyde de carbone ou azote) servant à régler le zéro de l'instrument

- gaz (par exemple, air contenant une teneur de 1000 ppm en bioxyde de carbone) servant à étalonner l'échelle de l'instrument (l'échelle photométrique)
- régulateur et débit mètre servant à régler le débit de gaz d'étalonnage et tubes de plastique servant à relier la source de gaz à l'instrument (aucun de ces accessoires n'est nécessaire lorsque des sources de gaz spéciales qui se branchent directement dans le puits d'étalonnage de l'instrument sont utilisées).

Après un étalonnage adéquat, ces analyseurs sont censés être justes pour environ 5% de l'échelle entière, soit à ±100 ppm dans la plage allant de 0 à 2000 ppm. Quant à la précision, elle est un peu meilleure, étant d'à peu près ±20 ppm.

3.1.2.3 Démarche détaillée

L'échantillonnage du bioxyde de carbone se fait à des endroits choisis habituellement en fonction des résultats obtenus à l'évaluation préliminaire. Comme les conditions normales varient d'un immeuble à l'autre, c'est une bonne idée de comparer les mesures effectuées dans des zones où les teneurs en bioxyde de carbone devraient être élevées (endroits-tests) avec celles faites dans des endroits où les teneurs devraient être faibles (endroits témoins).

Les endroits témoins devraient comprendre :

- l'admission d'air
- un autre endroit à l'extérieur de l'immeuble
- des aires à l'intérieur de l'immeuble où peu de personnes sont présentes

Les endroits-tests devraient comprendre :

- la sortie d'air
- les endroits où l'évaluation préliminaire indique la présence possible de fortes concentrations de bioxyde de carbone
- les autres endroits qui ont fait l'objet de plaintes d'une mauvaise qualité de l'air

Comme les occupants de l'immeuble sont la source la plus importante de bioxyde de carbone dans un immeuble à bureaux, les concentrations de ce contaminant varient en fonction du taux d'occupation pendant la journée. Les teneurs devraient être à leur maximum vers la fin de la matinée et la fin de l'après-midi. Le paragraphe 3.1.3.4 donne d'autres détails sur la variation de ces teneurs.

Lorsque l'évaluation préliminaire a mis en évidence de l'équipement de ventilation qui ne fonctionne pas (par exemple, des diffuseurs défectueux ou des grilles bloquées), les teneurs en bioxyde de carbone devraient être enregistrées avant et après les réparations.

Les analyseurs comportent de petits moteurs qui pompent l'air contenant du bioxyde de carbone à travers les unités à un débit d'environ un litre à la minute. Les instruments permettent de lire en continu la concentration de bioxyde de carbone en temps réel sur un cadran situé sur le panneau d'en avant. Chaque fois que les instruments sont mis en marche il est nécessaire d'en régler le zéro et d'en étalonner l'échelle. Étant donné leur faible volume interne, les instruments réagissent en moins de 10 secondes à un

changement d'environnement. Il est donc possible de procéder à des mesures à 10 endroits différents sur un même étage en moins de 15 à 20 minutes. L'usager devrait se tenir au moins à 3 mètres de l'instrument ou retenir sa respiration pendant qu'il fait les mesures, afin d'éviter de contribuer à la concentration de bioxyde de carbone enregistrée. Les mesures sont généralement prises à des endroits situés entre le dessus du bureau et la hauteur de la tête. Une fiche technique permettant d'enregistrer les concentrations de bioxyde de carbone est présentée à la Figure 3.1.1.

Les mesures de la concentration de bioxyde de carbone et les mesures de la température et de l'humidité devraient être coordonnées.

3.1.2.4 Évaluation

Les concentrations de bioxyde de carbone enregistrées devraient être comparées aux valeurs suivantes :

- concentration normale à l'extérieur : 300–350 ppm
- norme ASHRAE pour les bureaux : 1000 ppm
- SAE ACGIH/OSHA : 5000 ppm

Comme les concentrations varient pendant la journée, il est possible d'enregistrer dans des zones problèmes des concentrations inférieures à 1000 ppm. Voilà pourquoi il faudrait procéder à d'autres recherches si des concentrations supérieures à 800 ppm sont trouvées alors que les teneurs à l'extérieur de l'immeuble tombent dans la plage normale indiquée ci–dessus.

La température et l'humidité relative aux endroits–tests doivent être vérifiées pour voir si elles tombent dans les limites spécifiées par l'ASHRAE. Une température et une humidité élevées peuvent susciter le même genre de plainte que le bioxyde de carbone pour ce qui est de la qualité de l'air; elles peuvent aussi influer sur la perception des polluants.

3.1.2.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Quinze minutes sont nécessaires environ pour étalonner l'analyseur au début et à la fin d'une série de mesures. Les mesures elles–mêmes demandent environ une journée ouvrable. Le temps réel nécessaire dépend des dimensions de l'immeuble, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes déposées.

3.1.2.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques ainsi que tout rapport faisant état des mesures effectuées devraient être conservés et classés.

3.1.3 Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé

3.1.3.1 Description des techniques

La technique fait intervenir l'utilisation d'analyseurs infrarouges décrits au paragraphe 3.1.2.1. Toutefois, plutôt que de procéder rapidement à des essais à un grand nombre

BIOXYDE DE CARBONE (CO_2) – FICHE TECHNIQUE

Instrument: _____ Immeuble: _____

Réglage du zéro: _____ Usager: _____

Étalonnage de l'échelle: _____ Date: _____

Étage	Endroit	Heure	CO_2 (ppm)	Commentaires

Figure 3.1.1 **Bioxyde de Carbone (CO_2) – Fiche technique pour mesures simples**

d'endroits, on contrôle un petit nombre d'endroits pendant des périodes de 8 ou de 24 heures. Il est ainsi possible de se servir d'analyseurs plus précis, mais plus difficiles à transporter. En outre, il est possible de se servir de l'enregistrement sur papier ou de l'enregistrement numérique du profil des concentrations de bioxyde de carbone pour évaluer les taux approximatifs de renouvellement de l'air aux endroits-tests.

3.1.3.2 Équipement

- analyseur infrarouge et câble pour courant alternatif. Les analyseurs convenables sont le modèle ZFP5 de Fuji et le modèle APCA-210 de Horiba ou les appareils Miran 1A, Miran 80 ou Miran 200, qui sont encore plus précis
- air exempt de bioxyde de carbone ou azote servant à régler le zéro de l'instrument
- jusqu'à cinq gaz contenant des quantités connues de bioxyde de carbone dans l'air (ou dans l'azote) servant à étalonner l'échelle de l'instrument (le Miran 200 est préétalonné, les modèles Fuji et Horiba ne nécessitent qu'un seul gaz et les autres instruments de la Miran en nécessitent 4 ou 5)
- un régulateur permettant de régulariser le débit d'entrée du gaz d'étalonnage dans l'instrument (un régulateur à deux stades est nécessaire pour les cylindres de gaz sous pression élevée)
- tube de plastique servant à amener le gaz d'étalonnage à l'instrument
- un traceur à graphique (par exemple, le modèle Linear 142 Y-T)
- rouleaux de papier, plumes de rechange et encre pour le traceur
- câble et branchement appropriés pour relier l'analyseur et le traceur

Bien étalonné, l'appareil Miran 1A permet des mesures dont l'erreur globale est d'environ ±3%, c'est-à-dire de ±30 ppm pour une concentration de 1000 ppm. Les modèles des marques Fuji et Horiba ont une exactitude nominale de ±5% de l'échelle entière, c'est-à-dire de ±100 ppm.

3.1.3.3 Démarche détaillée

Avec chaque appareil, il n'est possible de tester qu'un seul endroit par jour. Les endroits-tests doivent donc être choisis avec soin. Il s'agit normalement d'endroits où des concentrations élevées de bioxyde de carbone ont été mesurées au moyen d'instruments simples. Il peut être approprié d'inclure aussi dans les essais un endroit témoin, par exemple la reprise d'air.

La distance que parcoure le faisceau de radiation infrarouge à travers le gaz peut être changée pour correspondre à la capacité d'absorption du contaminant, dans ce cas il s'agit du bioxyde de carbone. La relation entre l'ajustement de l'instrument et cette distance parcourue est démontrée à la figure 3.1.2.

Le zéro doit être réglé chaque fois que l'appareil est remis en marche, donc sur les lieux des essais. Lorsque l'appareil fonctionne en continu pendant une période prolongée, il faut régler le zéro une fois par jour.

Dans le cas des analyseurs Fuji et Horiba, il faut aussi procéder à l'étalonnage de l'échelle une fois par jour. Dans le cas des appareils Miran 1A et Miran 80, il semble

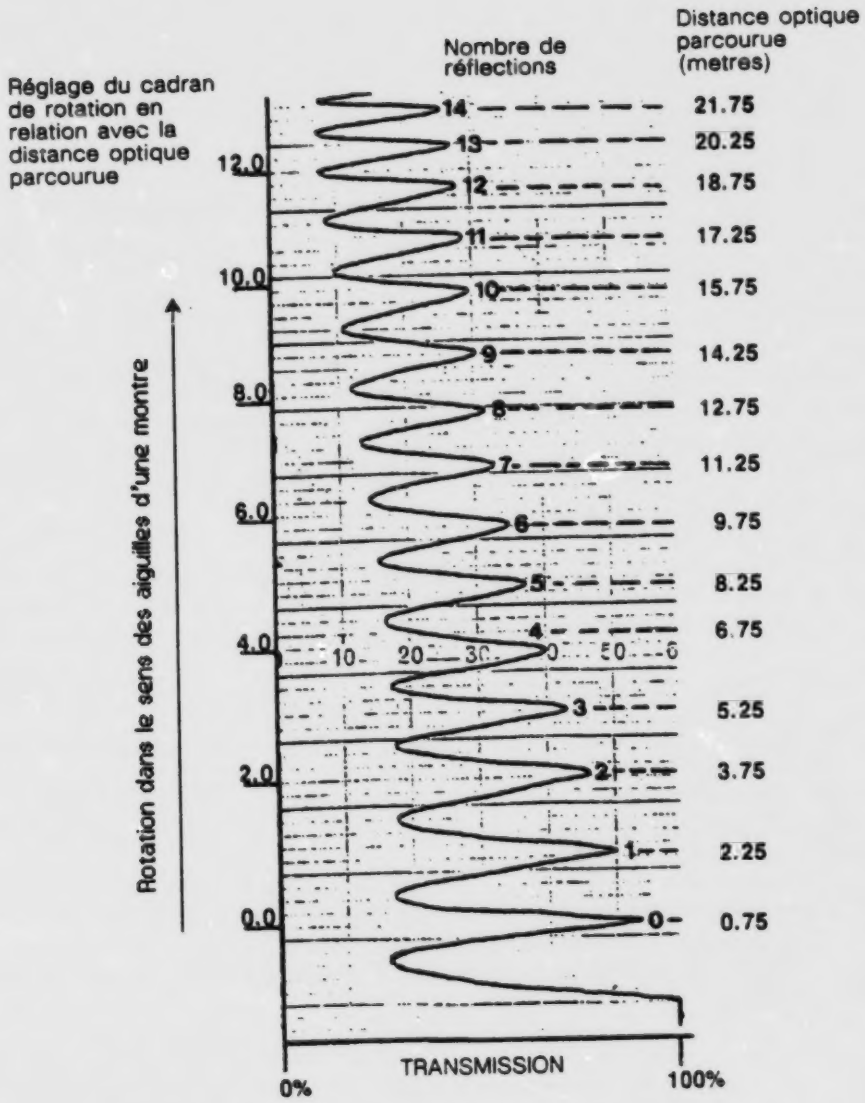

Figure 3.1.2 **Profil de la variation de la transmission infrarouge en fonction de la distance optique parcourue, à l'aide de l'analyseur Miran 1A**

que l'étalonnage soit stable sur des périodes d'au moins un mois, à la condition que la commande "scan", qui modifie la relation entre l'échelle de lecture et l'absorption ne soit pas changée de position. Il est donc possible de préétalonner ces appareils en laboratoire de façon à n'avoir qu'à régler le zéro sur les lieux des essais. L'étalonnage se fait en enregistrant la lecture que donne le cadran pour chaque gaz d'étalonnage utilisé. Il prend moins d'une demi-minute pour les modèles Fuji et Horiba. Toutefois, il demande beaucoup plus de temps pour les deux analyseurs Miran, car plusieurs gaz d'étalonnage sont utilisés, le volume intérieur des analyseurs est grand et chaque gaz d'étalonnage doit circuler dans l'appareil pendant environ 5 minutes avant de pouvoir obtenir une lecture fiable.

Pendant le contrôle, une pompe interne fait circuler l'air continuellement dans l'analyseur. Des lectures sont affichées sur le cadran de l'appareil et sont enregistrées en fonction du temps sur le traceur à graphique. Le traceur doit être réglé de façon que la lecture maximum prévue donne une déflection de la plume s'étalant sur presque toute la largeur du papier dont la vitesse de déroulement devrait être d'à peu près 2 cm/h. La lecture faite sur le cadran des appareils Miran est convertie en ppm de bioxyde de carbone au moyen de la courbe d'étalonnage. La figure 3.1.3 est un exemple de courbe d'étalonnage pour l'appareil Miran 1A. Malheureusement, aucune des échelles des analyseurs n'est linéaire; il est donc nécessaire d'établir à la main une corrélation entre la lecture sur le cadran et la déflection sur le spectrogramme.

3.1.3.4 Évaluation

Les concentrations de pointe de bioxyde de carbone enregistrées doivent être comparées aux valeurs suivantes :

- concentration normale à l'extérieure : 300–350 ppm
- norme ASHRAE pour les bureaux : 1000 ppm
- SAE ACGIH/OSHA : 5000 ppm

La figure 3.1.4 donne un profil typique des concentrations de bioxyde de carbone sur une période de 24 heures dans un immeuble à bureaux. Les concentrations maximales observées varient d'un endroit à l'autre à l'intérieur de l'immeuble, mais la forme des profils devrait être semblable. Cette figure représente le cas d'un jour ouvrable allant de 8 am à 4 pm à peu près. La concentration de bioxyde de carbone augmente donc abruptement vers 8 am et atteint son maximum à la fin de la matinée. Comme le taux d'occupation diminue pendant l'heure du repas, il se produit un creux dans la courbe vers midi. La concentration maximale quotidienne survient habituellement vers la fin de l'après-midi, puis il se produit ensuite une diminution de la concentration à mesure que les employés quittent le bureau. La rapidité de la baisse de concentration et la concentration minimale atteinte pendant la nuit dépendent du fait qu'il y a ou non ralentissement ou interruption de la ventilation pendant la nuit (et, le cas échéant, du moment où cela se produit) ainsi que du taux de fuite d'air de l'immeuble.

Il est possible de se servir des chiffres apparaissant dans la figure 3.1.4 pour trouver les taux approximatifs de renouvellement d'air nécessaire pour la partie de l'immeuble visée. La quantité d'air frais admis dans le système de ventilation au moment des

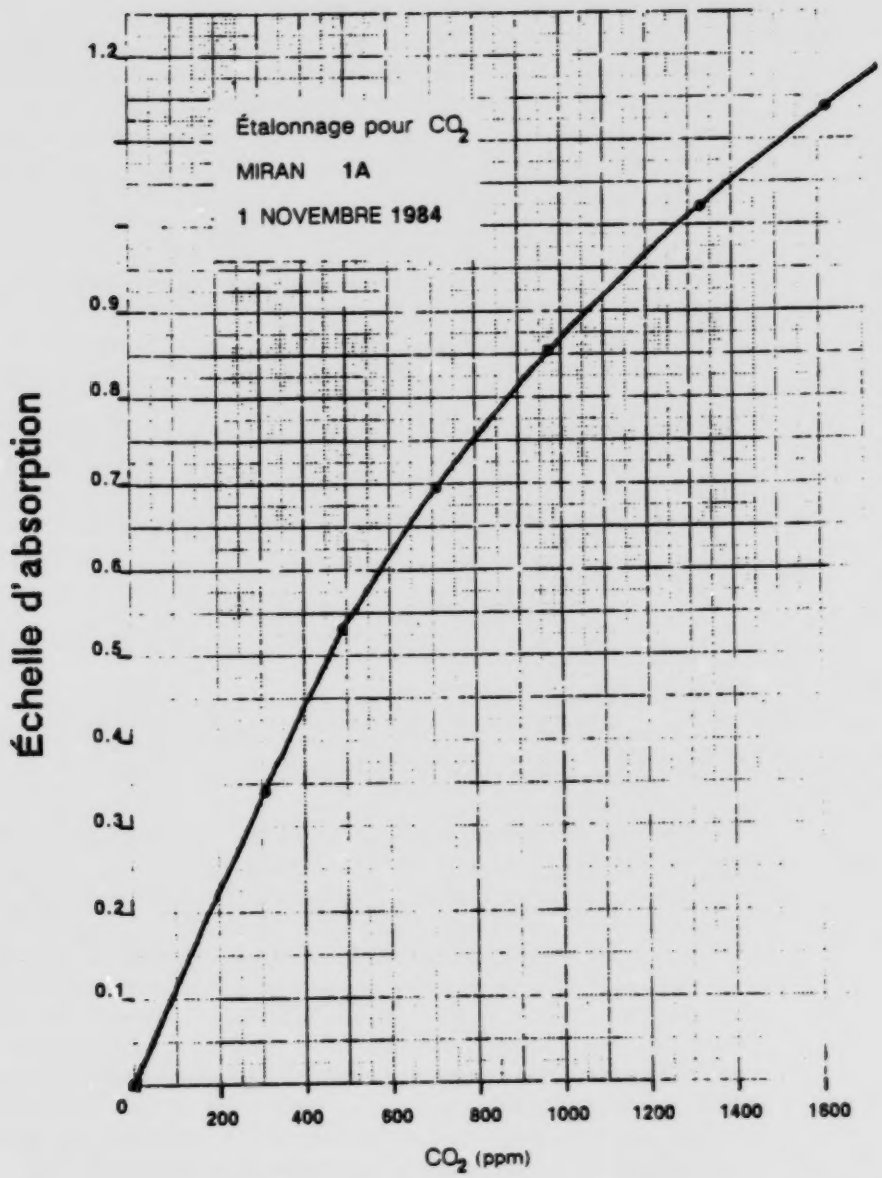

Figure 3.1.3 **Exemple de courbe d'étalonnage pour l'analyseur Miran 1A : CO_2**

pointes de la matinée et de l'après-midi est censée être juste suffisante pour limiter la concentration de bioxyde de carbone aux valeurs observées. Étant donné que chaque personne expire en moyenne 0,005 litre de bioxyde de carbone par seconde et que la concentration de bioxyde de carbone à l'extérieur est de 330 ppm, il est possible de calculer la quantité d'air extérieur (frais) devant être mis en circulation pour atteindre ces limites. Ce genre de calcul permet de tracer une courbe, illustrée à la figure 3.1.5, reliant la teneur en bioxyde de carbone et le taux d'admission d'air frais. Cette courbe est généralement utilisable dans les immeubles. À mesure que l'activité des occupants ou que la teneur en bioxyde de carbone de l'air frais dépassent les valeurs utilisées pour calculer les données servant à tracer la courbe de la figure 3.1.5, la quantité d'air frais devant être admis augmente en conséquence. Dans la figure 3.1.4, la concentration moyenne de pointe est de 600 ppm. Cette valeur correspond à un taux d'admission d'air frais de 13 L/s à la figure 3.1.5. Il est à noter que les variations du taux d'occupation à l'heure du repas et à la fin de l'après-midi pourraient cacher une concentration de pointe susceptible d'être supérieure, ce qui indique que le taux d'admission d'air frais calculé doit être considéré comme une valeur maximale.

Dans la norme ASHRAE la plus récente,[1] on se sert d'un calcul qui ressemble extrêmement à celui décrit ci-dessus pour relier la norme de ventilation des immeubles à bureaux (15 pi³/min ou 7,5 L/s) et la norme de qualité de l'air qui est de 1000 ppm pour le bioxyde de carbone.

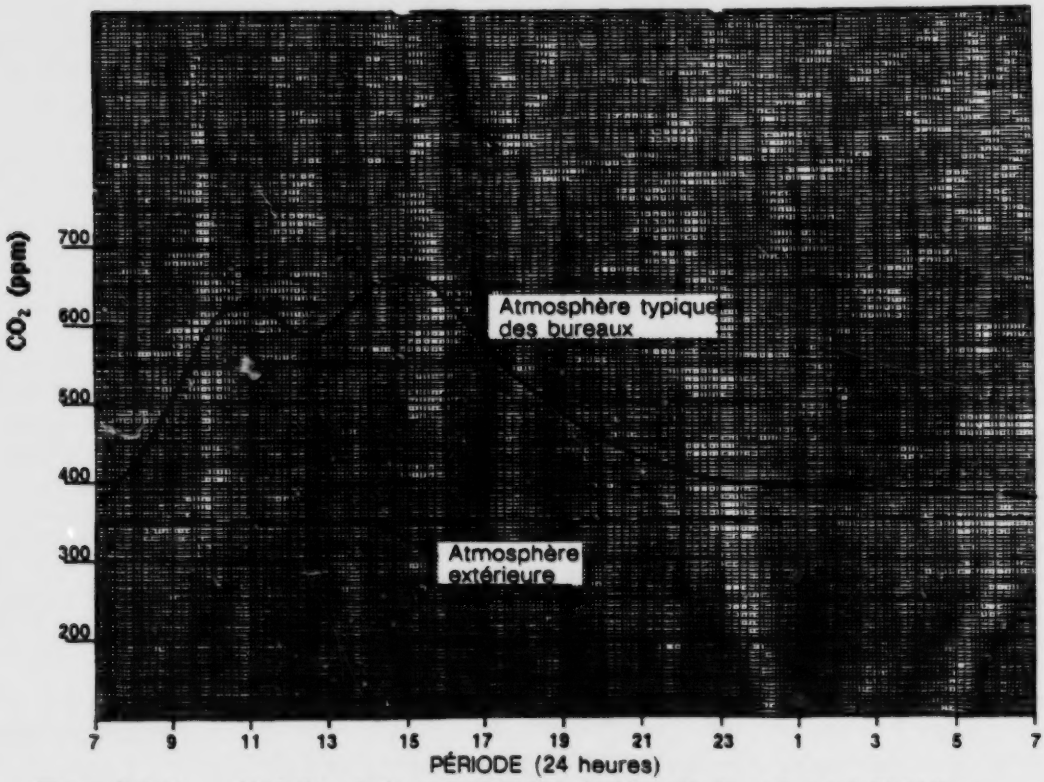

Figure 3.1.4 **Variation de la concentration de bioxyde de carbone à l'intérieur d'un immeuble à bureaux typique sur une période de 24 heures**

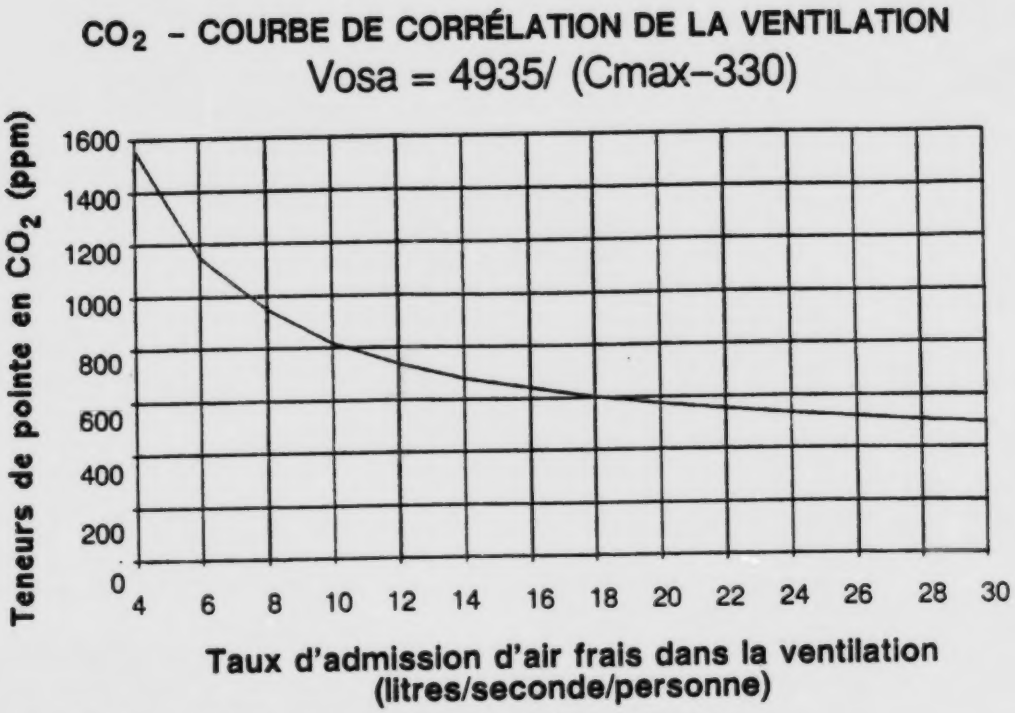

Figure 3.1.5 **CO_2 – Courbe de corrélation de la ventilation**
– Relation entre les concentrations de pointe quotidiennes de bioxyde de carbone et le taux d'admission d'air frais dans la ventilation

3.1.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Le choix des endroits–tests et l'entretien, l'étalonnage et l'emballage d'un appareil Miran prend environ une demi–journée. Le réglage du zéro demande environ 15 minutes sur les lieux. L'enregistrement de chaque profil prend une journée, mais l'analyseur peut fonctionner seul pendant la majeure partie de ce temps. L'analyse et l'évaluation demandent environ une demi–journée, principalement à cause de la nécessité de déterminer les concentrations à l'aide d'un diagramme d'étalonnage. Lorsqu'un analyseur de marque Fuji ou Horiba est utilisé, l'exactitude des résultats obtenus diminue ainsi que le temps nécessaire aux mesures. La préparation d'un rapport peut prendre un ou deux jours, selon le nombre de profils tracés et des résultats obtenus.

3.1.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Tous les profils tracés, les fiches techniques et les documents de travail sont classés et conservés avec le rapport du consultant. Une fiche technique typique au monitorage détaillé et spécialisé est illustrée à la Figure 3.1.6.

BIOXYDE DE CARBONE – FICHE TECHNIQUE	
Instrument: _____	Immeuble: _____
Réglage du zéro: _____	Usager: _____
Étalonnage de l'échelle: _____	
Endroit du test: _____	
Début du test (heure): _____	date: _____
Fin du test (heure): _____	date: _____
Détails relatifs à l'instrument _____ _____ _____ _____ _____	Détails relatifs à l'enregistreuse Échelle: _____ Vitesse de déroulement: _____

Figure 3.1.6 Bioxyde de Carbone (CO_2) – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé

3.2 Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (formule moléculaire : CO, masse moléculaire : 28), un produit de combustion incomplète des combustibles fossiles, est un gaz inodore et incolore. À l'encontre du bioxyde de carbone, le monoxyde de carbone est extrêmement toxique; il est responsable de plusieurs décès chaque année en Amérique du Nord. Le monoxyde de carbone nuit au transport de l'oxygène dans l'organisme en formant avec l'hémoglobine un complexe plus stable, l'hémoglobine servant au transport de l'oxygène dans le sang. Lorsque du monoxyde de carbone est présent dans le sang, il se lie de façon préférentielle à l'hémoglobine, excluant l'oxygène. Lorsqu'une quantité aussi faible que 2% de l'hémoglobine disponible est raccordée de cette façon, la personne touchée peut être touchée mentalement, suite à la perturbation du transport de l'oxygène au cerveau[23]. Chez les personnes qui fument plus d'un paquet de cigarettes par jour et qui en inspire la fumée, 5% de l'hémoglobine présente peut exister sous forme de composé hémoglobine–CO.

Une concentration de monoxyde de carbone de 0,1% (1000 ppm) dans l'air peut entraîner des maux de tête graves, des étourdisssements, des nausées, le coma et même le décès. L'exposition à court terme à des teneurs élevées en monoxyde de carbone cause de nombreuses modifications neurologiques qui peuvent persister pendant des semaines, voire des années, après que le sujet ait été retiré de la zone contaminée.

Voilà pourquoi des normes ont été fixées aussi bien pour l'exposition à court terme que pour l'exposition à long terme au monoxyde de carbone.

Comme les gaz d'échappement des automobiles sont la source première de monoxyde de carbone, les plates-formes de chargement et les stationnements intérieurs sont une source potentielle de pollution des immeubles par le monoxyde de carbone. Cette substance compte aussi parmi les quelques polluants localisés à l'intérieur qui peuvent avoir leur origine à l'extérieur des immeubles (par exemple, au premier étage d'un immeuble adjacent à une rue à circulation très dense). À l'intérieur, les sources les plus importantes de ce gaz sont les chaudières, les chaufferettes et les fours à gaz ainsi que la fumée de cigarette.

Les concentrations intérieures varient habituellement entre 0,5 et 5,0 ppm, bien que des teneurs passagères dépassant 100 ppm aient été observées dans certaines maisons équipées de cuisinière à gaz[24]. Les paragraphes 3.2.2.4 et 3.2.3.4 ainsi que l'annexe 5.2 donnent la liste des normes concernant le monoxyde de carbone.

Ni les filtres, ni les laveurs de gaz utilisés dans les systèmes de ventilation ne sont capables d'éliminer le monoxyde de carbone, car il s'agit d'une substance qui ne réagit pas avec l'eau et qui n'est pas très soluble dans celle-ci. En conditions normales, ce gaz ne réagit pas avec l'oxygène de l'air pour donner du bioxyde de carbone (CO_2), qui est beaucoup moins toxique. Il est donc nécessaire de l'éliminer par ventilation dans les zones contaminées. Une meilleure solution consiste à l'empêcher de pénétrer dans ces zones en tout premier lieu.

3.2.1 Étape I - Évaluation préliminaire

3.2.1.1 Description des techniques

Les techniques sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Il est possible de se procurer des renseignements utiles concernant la possibilité de contamination par le monoxyde de carbone par:

- l'étude des plans d'étage de l'immeuble, lorsqu'ils sont disponibles;
- la consultation du registre des plaintes concernant la qualité de l'air dans l'immeuble;
- des discussions ou des entrevues informelles avec les occupants de l'immeuble;
- l'inspection de certaines zones de l'immeuble.

3.2.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses obtenues aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour noter les renseignements obtenus.

3.2.1.3 Démarche détaillée

Les plans de l'immeuble ou des discussions avec le responsable de l'immeuble révéleront l'existence d'endroits possibles à problèmes, par exemple :

- plates-formes de chargement intérieures;
- stationnements intérieurs;
- cuisines équipées de cuisinières à gaz;
- chaufferies comportant des chaudières à gaz naturel;
- aires occupées voisines de l'un ou l'autre des endroits mentionnés ci-dessus;
- prises d'air voisines d'une rue à circulation dense.

Ces lieux doivent être inspectés et des renseignements obtenus par les moyens indiqués sur les listes qui suivent :

Liste des points à vérifier pour une **plate-forme de chargement** :

- existe-t-il une porte donnant sur l'extérieur qui se referme après l'arrivée d'un camion?
- est-ce que les chauffeurs de camions sont incités à arrêter le moteur de leur véhicule pendant que celui-ci est près de la plate-forme?
- combien de camions se servent de la plate-forme en moyenne par semaine?
- en moyenne, combien de temps chaque camion reste-t-il près de la plateforme?
- est-ce que toutes les portes menant aux autres parties de l'immeuble sont normalement fermées?
- est-ce que le bureau de la réception est séparé de la plate-forme de chargement?
- est-ce que le bureau de la réception est bien ventilé?

Liste des points à vérifier pour un **stationnement** :

- s'agit-il d'un stationnement à l'air libre ou d'un stationnement clos muni d'un système de ventilation qui fonctionne?
- s'il y a un système de ventilation, comment est-il réglé?
- la bouche d'évacuation de l'air ou la prise d'air frais sont elles obstruées?
- est-ce que le système de ventilation fonctionne pendant toute la journée ou uniquement aux heures de pointe?
- est-ce qu'il y a des détecteurs de monoxyde de carbone dans le stationnement?
- quelle est la fréquence de réétalonnage des détecteurs?
- de quelle façon les employés passent-ils du stationnement à leurs lieux de travail?
- existe-t-il une ventilation spéciale pour la guérite du surveillant du stationnement?

Liste des points à vérifier pour les **cuisines équipées de cuisinières à gaz** :

- existe-t-il des conduites d'évacuation spéciales pour éliminer les gaz de combustion produits par ces cuisinières?
- comment se fait le réglage de ces conduites d'évacuation?

Liste des points à vérifier pour les **chaufferies équipées de chaudières au gaz naturel** :

- y a-t-il des fuites évidentes dans la paroi des chaudières ou dans les conduits ou les tuyaux des chaudières?

- existe-t-il des odeurs de brûlé ou de gaz de combustion?

Liste des points à vérifier pour les **prises d'air frais** :

- où les prises d'air sont-elles situées dans l'enveloppe de l'immeuble?
- si les prises d'air sont en bas du troisième étage, sont-elles situées au-dessus d'une rue à forte circulation ou au-dessus de l'entrée menant à la plate-forme de chargement ou au stationnement?

Liste des points à vérifier pour les **plaintes et l'entrevue des occupants** :

- le taux d'absentéisme est-il élevé?
- les occupants se plaignent-ils d'une mauvaise santé?
- existe-t-il des plaintes portant sur des symptômes tels que maux de tête, fatigue, étourdissements et nausées?
- de quelle partie de l'immeuble ces plaintes viennent-elles?
- y a-t-il des plaintes concernant des odeurs attribuées à des gaz d'échappement, à des fumées de mazout, à la cuisine, à la chaufferie ou au système de chauffage central?
- quels sont les endroits où travaillent les personnes à l'origine de ces plaintes?
- quel est le moment de la journée où les symptômes ou les odeurs sont le pire?
- est-ce que les plaintes ou les symptômes sont saisonniers?
- y a-t-il un grand nombre de fumeurs dans l'immeuble ou dans une partie de celui-ci?
- est-ce qu'on se plaint des odeurs de fumée et de tabac ou des fumeurs?
- est-ce qu'on demande de mettre en place des zones pour non-fumeurs?

3.2.1.4 Évaluation

Les résultats des observations et les réponses aux questions posées peuvent servir de la façon suivante à évaluer la probabilité d'un problème de pollution posé par le monoxyde de carbone à l'un ou l'autre des endroits examinés. D'habitude, il faut au moins deux conditions soient remplies avant qu'il y ait probablement un problème :

- **plate-forme de chargement** : il peut y avoir un problème si le moteur des camions continue à tourner pendant que ceux-ci sont arrêtés à la plateforme de chargement, et si les moteurs sont à l'intérieur de la plateforme de sorte que le monoxyde de carbone ne peut pas s'échapper facilement, et s'il y a des camions dans la plate-forme de chargement pendant plus de deux heures chaque jour. Lorsque ces trois conditions sont remplies, le surveillant est en danger si le bureau de la réception fait partie de la plate-forme et s'il n'est pas ventilé. En outre, le monoxyde de carbone peut se déplacer dans les aires à bureaux si la plate-forme n'en est pas séparée par une porte fermée.

- **stationnement** : lorsque le stationnement est ouvert et qu'il est situé au-dessus du sol, il ne devrait pas y avoir de problème. Lorsqu'il est clos, mais ventilé, il y a danger de problème quand le système ne fonctionne pas adéquatement, c.-à-d. lorsque son fonctionnement est commandé par des capteurs à monoxyde de carbone qui n'ont pas été étalonnés pendant une année, ou

lorsque la ventilation est interrompue, sauf aux heures de pointe, (mais à un moment où des véhicules entrent et sortent du stationnement pendant la journée), ou que les volets de la bouche d'évacuation sont fermés pour empêcher que le stationnement ne devienne trop froid en hiver, etc. Lorsque le stationnement est fermé, la guérite du surveillant devrait avoir sa propre alimentation en air.

- **cuisines équipées de cuisinières à gaz** : lorsque des cuisinières sont munies de hottes fonctionnant toujours en même temps que les cuisinières, il ne devrait y avoir aucun problème.

- **chaufferies équipées de chaudières au gaz naturel** : la présence d'odeurs ou l'observation de bris dans la paroi des chaudières ou de leurs tuyaux sont des indices d'un problème possible.

- **admissions d'air frais** : lorsque les prises d'air sont situées au-dessus du troisième étage et qu'elles ne sont pas voisines de la bouche d'évacuation de l'immeuble en question ou de l'immeuble voisin, il ne devrait y avoir aucun problème. Lorsque les prises sont situées au premier ou au deuxième étage, elles peuvent laisser pénétrer du monoxyde de carbone dans l'immeuble lorsque le traffic est dense dans la rue ou lorsqu'elles sont situées près de l'entrée d'un stationnement ou d'une plate-forme de chargement utilisée fréquemment.

- **plaintes et entrevues des occupants** : ce genre de renseignement est plus difficile à évaluer, car les symptômes d'intoxication au monoxyde de carbone (maux de tête, étourdissements, nausées et fatigue) ne sont pas spécifiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent être dus à un certain nombre de causes différentes. Dans un immeuble à bureaux, ces autres causes peuvent inclure les allergies, des maladies comme la grippe, les effets des autres polluants, d'autres stress physiques comme un mauvais éclairage et le stress mental dû au manque de satisfaction de son travail ou de conflits personnels reliés au travail. Les plaintes concernant les symptômes listés ne doivent pas être considérées des indices d'une pollution par le monoxyde de carbone à moins qu'il n'y ait aussi un autre indice du problème, par exemple : le fait d'être situé près d'une source probable (dont l'évaluation a fait l'objet de l'un des alinéas précédents du présent paragraphe), la présence de beaucoup de fumeurs dans la zone en question, ou le dépôt simultané de plaintes d'odeurs de gaz d'échappement ou de chaufferies. La variation des symptômes et des plaintes en fonction du temps peut constituer un indice supplémentaire. Il est probable que les effets du monoxyde de carbone provenant d'un stationnement seront pires pendant la matinée, sans toutefois varier d'un jour à l'autre ou selon la saison.

3.2.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Une demi-journée ouvrable devrait être allouée pour l'évaluation préliminaire d'un immeuble ayant une superficie de 10 000 m². Le temps exact dépend de la complexité de l'immeuble, du nombre d'endroits inspectés et du nombre de plaintes déposées.

3.2.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les photographies et l'enregistrement des observations et des réponses données aux questions posées doivent tous être conservés et classés.

3.2.2 **Étape II – Techniques simples de mesure**

3.2.2.1 Description des techniques

Même si les analyseurs infrarouges non dispersifs sont assez faciles à transporter et à utiliser, les moniteurs faisant intervenir des cellules électrochimiques peuvent être de plus petites dimensions, encore plus simples à utiliser et moins coûteux. Voilà donc la raison pour laquelle le présent paragraphe est consacré aux moniteurs électrochimiques de poche. Le détecteur (cellule électrochimique) de ces instruments est une pile dont le débit varie en fonction de la concentration de monoxyde de carbone à laquelle il est exposé. Le signal électrique est transposé en une lecture numérique représentant la concentration de monoxyde de carbone. Comme la réponse est proportionnelle à la quantité de monoxyde de carbone qui diffuse dans la cellule à travers une grille dans l'étui du moniteur, il n'est pas nécessaire de se servir d'une pompe à air. L'affichage numérique à cristaux liquides demande lui aussi moins d'énergie qu'une aiguille mue mécaniquement. De petites piles font donc fonctionner ces appareils pendant de longues périodes. Ils nécessitent cependant un étalonnage périodique, surtout lorsqu'ils sont exposés à de fortes concentrations de monoxyde de carbone.

3.2.2.2 Équipement

- moniteur électrochimique comme le modèle CO260 de l'Industrial Scientific Devices ou le "CO Monoguard" de Dynamation
- piles de rechange (il est possible de trouver dans toutes les quincailleries le type de piles habituellement nécessaires)
- gaz (air exempt de monoxyde de carbone ou azote) servant à régler le zéro de l'instrument
- gaz (par exemple, une concentration de 50 ppm de monoxyde de carbone dans l'air) servant à étalonner l'échelle photométrique de l'instrument
- un régulateur servant à régulariser le débit de gaz
- des tubes pour amener les gaz d'étalonnage du récipient/régulateur à l'instrument
- un petit débitmètre pour s'assurer que le débit de gaz utilisé est le bon
- un coussinet ou une capsule qui s'adapte sur le détecteur de l'instrument pour s'assurer que le gaz d'étalonnage n'est pas dilué par l'air et qu'il entre bien en contact avec le détecteur
- un chronomètre mesurant la durée de l'étalonnage

3.2.2.3 Démarche détaillée

Avant d'utiliser les moniteurs, il est nécessaire de choisir les endroits où les mesures doivent être effectuées. Pour minimiser les effets de l'imprécision de l'instrument, c'est une bonne idée de comparer des mesures faites dans des endroits où l'atmosphère est censée être exempte de contamination par le monoxyde de carbone (endroits témoins)

avec les mesures faites à des endroits où il est probable que le polluant soit présent (endroits-tests). Les endroits-tests sont choisis en fonction des résultats de l'évaluation préliminaire.

Les endroits témoins doivent comprendre :

- la prise d'air
- un autre endroit à l'extérieur
- des endroits situés à l'intérieur, mais éloignés des sources

Les endroits-tests doivent comprendre les sources probables de monoxyde de carbone, les voies par lesquelles cette substance peut se rendre dans les aires environnantes et des endroits situés dans ces aires. Il est possible d'omettre les aires dans lesquelles il est peu probable, selon les indications de l'évaluation préliminaire, de trouver des sources. Toutefois, il faut toujours procéder à des mesures aux entrées d'un stationnement intérieur fermé, car l'expérience a montré que les stationnements sont habituellement les principales sources de monoxyde de carbone. Il faut aussi doser l'air évacué et considérer la prise d'air comme un endroit-test lorsqu'elle est située près d'une source de monoxyde de carbone.

Les moniteurs électrochimiques ont besoin d'être étalonnés régulièrement. Un intervalle d'une semaine entre les étalonnages est un intervalle convenable. L'étalonnage comprend la vérification et, au besoin, tant le réglage du zéro que l'étalonnage de l'échelle avec des gaz appropriés. Les deux ajustements ne sont pas complètement indépendants; en cas d'erreur de plus de 10 ppm sur l'un ou l'autre des deux réglages, l'étalonnage doit être recommencé jusqu'à stabilisation des lectures. Comme le monoxyde de carbone diffuse lentement dans la cellule électrochimique, il faut faire circuler lentement le gaz d'étalonnage au-dessus du détecteur : un débit de 0,5 L/min pendant une période de 2 minutes est approprié. Lorsque l'instrument est exposé à des concentrations supérieures à 200 ppm, il faut vérifier son étalonnage, car de telles concentrations peuvent entraîner la dérive du zéro.

Il est possible de se servir des moniteurs moins d'une minute après leur mise en marche; il est aussi possible de les arrêter et de les remettre en marche sans affecter leur étalonnage. Les concentrations de monoxyde de carbone sont affichées numériquement en ppm et sont précises au ppm près. Lorsqu'un changement de concentration important est prévu dans une nouvelle zone, il peut être nécessaire de laisser s'écouler une demi-minute pour que les concentrations aient le temps d'atteindre leur valeur définitive. Les concentrations observées doivent être inscrites sur une fiche technique. Un exemple de fiche appropriée est donné à la figure 3.2.1.

3.2.2.4 Évaluation

Les concentrations de monoxyde de carbone trouvées doivent être comparées aux valeurs suivantes :

- concentrations normales à l'intérieur ou à l'extérieur : 0-5 ppm;
- norme ASHRAE : 9 ppm;
- norme ACGIH/OSHA : 50 ppm;
- norme ACGIH sur 15 minutes : 400 ppm.

MONOXYDE DE CARBONE (CO) - FICHE TECHNIQUE

Instrument: _____ Immeuble: _____

Réglage du zéro: _____ Usager: _____

Étalonnage de l'échelle: _____ Date: _____

Étage	Endroit	Heure	CO (ppm)	Commentaires

Figure 3.2.1 **Monoxyde de Carbone (CO) - Fiche technique pour mesures simples**

Lorsque des concentrations dépassant 9 ppm sont décelées dans une partie occupée de l'immeuble ou que des concentrations supérieures à 50 ppm sont trouvées près d'une source, il est nécessaire de poursuivre les recherches.

3.2.2.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

L'enregistrement des concentrations de monoxyde de carbone dans un immeuble peut prendre jusqu'à une demi-journée ouvrable. Le temps réel dépend des dimensions de l'immeuble, du nombre des sources et de leur genre. L'étalonnage de l'instrument demande environ 10 minutes.

3.2.2.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Conserver et classer les fiches techniques et tout rapport préparés à partir des mesures enregistrées.

3.2.3 **Étape III - Monitorage détaillé et spécialisé**

3.2.3.1 Description des techniques

Le principe de fonctionnement des analyseurs infrarouges est fondé sur le fait que le monoxyde de carbone absorbe le rayonnement infrarouge à une longueur d'onde - 4,65 µm (micromètres) - différente de celles absorbées par les autres contaminants communs dans l'air des immeubles. Les proportions du rayonnement émis par une source infrarouge absorbées par un échantillon d'air peuvent donc constituer une mesure de la concentration de monoxyde de carbone dans cet échantillon. Le progrès par rapport aux instruments simples est la possibilité d'enregistrer la concentration mesurée, de façon à obtenir des profils quotidiens. Selon l'instrument utilisé, il se peut qu'il y ait aussi amélioration de l'exactitude ou de la précision.

3.2.3.2 Équipement

Il existe deux types d'analyseurs infrarouges, soit les appareils non dispersifs et les appareils dispersifs. Les appareils non dispersifs permettent de déceler seulement le monoxyde de carbone; ils sont plus simples, et plus faciles à transporter et à utiliser. Les appareils dispersifs permettent de déceler plusieurs gaz (un seul à la fois cependant); ils peuvent être plus exacts, car leur étalonnage se fait sur un plus grand nombre de points; par contre, ils sont plus coûteux et plus difficiles à transporter. Le modèle APMA 300E de Horiba est un exemple d'appareil non dispersif. Les modèle Miran 1A, Miran 80 et Miran 200 de Foxboro sont des exemples d'appareils dispersifs.

Dans notre laboratoire, nous avons l'habitude d'utiliser un appareil Miran 1A relié à un traceur à graphique; suit une liste du matériel nécessaire pour enregistrer les données :

- Analyseur infrarouge
- câble et allonge (pour les instruments qui fonctionnent soit au courant alternatif soit au courant continu; les piles ne durent généralement pas une journée entière)
- air exempt de monoxyde de carbone ou azote servant au réglage du zéro de l'instrument

- jusqu'à cinq échantillons de gaz, contenant des quantités connues de monoxyde de carbone dans l'air ou l'azote, servant à étalonner l'échelle de l'instrument (le nombre de gaz nécessaire dépend de l'instrument choisi)
- régulateur commandant le débit du gaz d'étalonnage (dans le cas des cylindres de gaz sous pression élevée, un régulateur à deux corps est nécessaire)
- tubes de plastique servant à amener le gaz d'étalonnage à l'instrument
- traceur à graphique (par exemple le modèle Linear 142 Y–T)
- rouleaux de papier graphique, encre et plumes de rechange pour le traceur
- câble muni des fiches de branchement appropriées pour relier l'analyseur à l'enregistreur

Avec un bon étalonnage, l'erreur globale sur les mesures est, pour le Miran 1A, d'environ ±3% de la concentration enregistrée.

3.2.3.3 Démarche détaillée

Le nombre des endroits qu'il est possible de tester est limité, soit un par instrument par jour; il est donc nécessaire de les choisir avec soin. Il s'agit normalement toujours d'endroits où des concentrations élevées de monoxyde de carbone ont été décelées au cours de mesures effectuées auparavant avec des instruments simples. Il peut être pertinent d'inclure aussi un endroit témoin. Lorsque les mesures sont prises près de détecteurs de monoxyde de carbone, noter la lecture des détecteurs à divers moments pendant l'essai.

La distance que parcoure le faisceau de radiation infrarouge à travers le gaz peut être changée pour correspondre à la capacité d'absorption du contaminant, dans ce cas il s'agit du monoxyde de carbone. La relation entre l'ajustement de l'instrument et cette distance de parcours optique est démontrée à la figure 3.1.2.

Le réglage du zéro doit être fait chaque fois que l'instrument est fermé et ouvert à nouveau. Il faut donc y procéder sur les lieux où se font les mesures. Lorsque l'instrument fonctionne en continu pendant une période prolongée de temps, le zéro doit être réglé une fois par jour.

L'étalonnage de l'échelle du Miran 1A semble être stable pour une période d'au moins 1 mois à la condition que le bouton "scan", qui modifie la relation entre la lecture de l'échelle et l'absorption, ne soit pas déplacé. Les instruments peuvent donc être pré–étalonnés en laboratoire, ce qui ne laisse donc que le réglage du zéro à faire sur les lieux. L'étalonnage fait intervenir le réglage du zéro de l'instrument, de la façon déjà décrite, et l'enregistrement de la lecture obtenue pour chaque gaz d'étalonnage. Comme le volume interne de l'analyseur est grand, le gaz d'étalonnage doit circuler dans l'instrument pendant environ 5 minutes avant qu'une lecture fiable soit obtenue.

Pendant le contrôle, une pompe interne fait circuler l'air en continu dans l'analyseur Miran. L'absorption s'inscrit sur le cadran de l'instrument; elle est enregistrée en fonction du temps par l'enregistreur qui doit être régle de façon que la lecture maximum prévue déplace la plume sur presque toute la largeur du papier; la vitesse de déroulement du papier doit être d'environ 2 cm/h. La lecture sur le cadran et celle enregistrée sur le papier sont transformées en concentration (ppm) de monoxyde de

carbone grâce à la courbe d'étalonnage. La figure 3.2.2 est un exemple de courbe d'étalonnage du Miran 1A; suit une fiche technique pour un monitorage détaillé et spécialisé, figure 3.2.3.

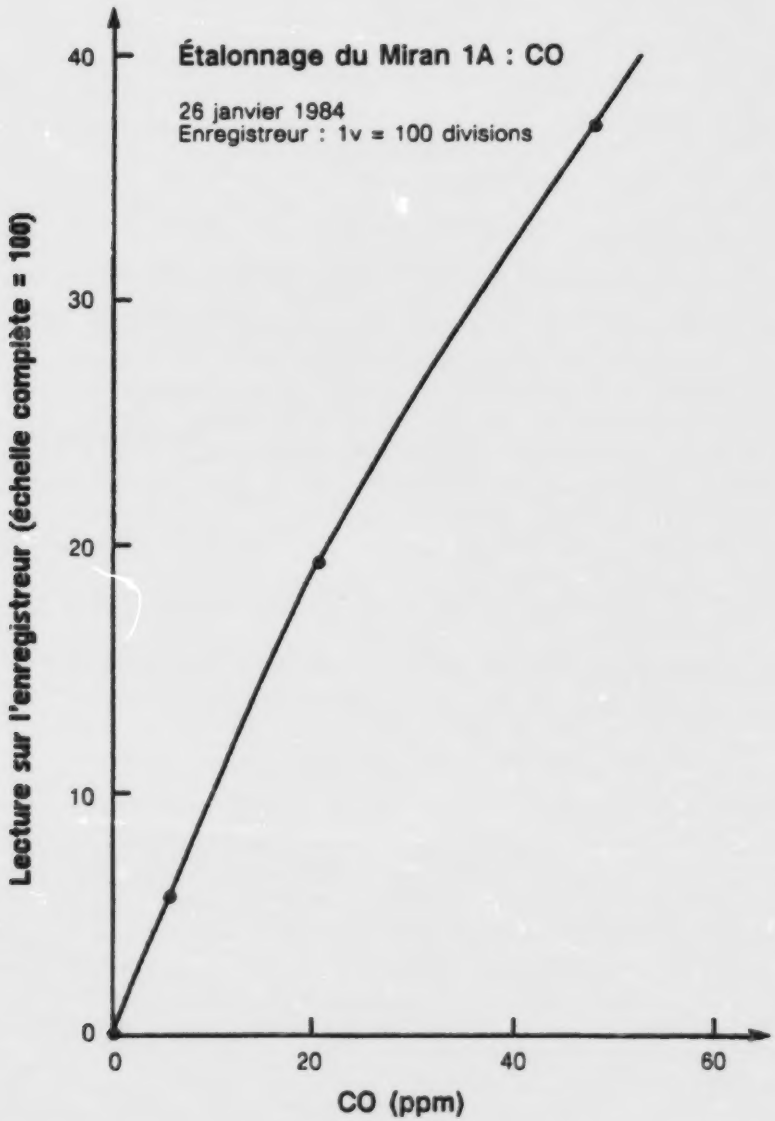

Figure 3.2.2 **Courbe d'étalonnage pour l'analyseur Miran 1A : CO**

MONOXYDE DE CARBONE - FICHE TECHNIQUE

Instrument: _____ Immeuble: _____

Réglage du zéro: _____ Usager: _____

Étalonnage de l'échelle: _____

Endroit du test: _____

Début de l'essai - heure: _____ date: _____

Fin de l'essai - heure: _____ date: _____

Détails sur l'instrument	Détails sur l'enregistreur
_____	Échelle: _____
_____	Vitesse de déroulement: _____
_____	
_____	
_____	

Détails sur l'instrument	Détails sur l'enregistreur
Échelle d'absorption (Miran) : 1.0	Échelle: _____
Largeur de la fente : 1 mm	Vitesse de déroulement: _____
Temps de réponse : 1 sec	
Chemin optique 20,25 m	
Date d'étalonnage: _____	

Figure 3.2.3 Monoxyde de Carbone (CO) - Fiche Technique pour le monitorage détaillé et spécialisé

3.2.3.4 Évaluation

La concentration de pointe et la concentration moyenne de monoxyde de carbone trouvées doivent être comparées aux valeurs suivantes :

- teneurs normales à l'intérieur et à l'extérieur : 0–5 ppm;
- norme ASHRAE : 9 ppm;
- MPT ACGIH/OSHA sur 8 heures : 50 ppm;
- norme ACGIH sur 15 minutes : 400 ppm.

Quand l'une ou l'autre des deux dernières normes n'est pas respectée, il faut prendre immédiatement des mesures visant à diminuer les teneurs en monoxyde de carbone

dans la zone en question. Il faut aussi prendre des mesures correctrices lorsque la norme ASHRAE n'est pas respectée dans des aires à bureaux.

Lorsque les détecteurs donnent des lectures qui ne s'avèrent pas justes, il faut les étalonner à nouveau. L'essai et l'étalonnage des détecteurs doivent se faire au moins une fois l'an.

Lorsque des concentrations importantes de monoxyde de carbone sont trouvées dans des zones apparemment sans lien avec les sources identifiées, on doit procéder à des essais de migration des polluants pour déterminer le mode de déplacement des gaz dans l'immeuble. Il est possible de trouver des détails concernant la méthode d'essai dans le document de classe D intitulé "Technique d'évaluation de la migration des polluants" (chapitre 5.3).

3.2.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Le choix des endroits soumis aux essais, l'entretien, l'étalonnage et l'emballage du Miran 1A nécessitent environ une demi-journée. Le réglage du zéro de l'analyseur prend environ 15 minutes une fois sur les lieux. Il faut un jour pour enregistrer chaque profil, mais l'analyseur peut fonctionner sans supervision pour la majeure partie de ce temps. L'analyse et l'évaluation demandent environ une demi-journée, surtout à cause de la nécessité de déterminer les concentrations à l'aide d'une courbe d'étalonnage. La préparation d'un rapport peut prendre un ou deux jours, selon le nombre de profils et les résultats trouvés.

3.2.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les enregistrements, les fiches techniques et les documents de travail sont tous classés et conservés avec le rapport du consultant.

3.3 FORMALDÉHYDE

Le formaldéhyde est un gaz incolore à odeur piquante, très soluble dans l'eau, dont la formule moléculaire est H_2CO et la masse moléculaire, 30. Il est fréquent qu'on trouve du formaldéhyde à l'intérieur des immeubles, car il est émis par des matériaux synthétiques dont il compose la base. Il s'agit de la principale composante des résines phénoliques et acétalliques et des résines de mélamine et d'urée, qu'on trouve dans des matériaux isolants comme la mousse isolante d'urée formaldéhyde (MIUF), ainsi que dans les panneaux de particules, le contre-plaqué, les textiles (en particulier les tissus à pressage permanent), les adhésifs, etc.[27]. Parmi les autres produits pouvant contenir du formaldéhyde libre, citons : divers plastiques, caoutchoucs, produits d'imprimerie, papiers, peintures, fournitures photographiques, fumigants et teintures[33]. La fumée de cigarette contient aussi du formaldéhyde, de même que les produits de combustion incomplète des combustibles fossiles. Par conséquent, la concentration de formaldéhyde est habituellement beaucoup plus élevée à l'intérieur des immeubles qu'à l'extérieur.

Le taux de dégagement de formaldéhyde par les matériaux synthétiques dépend de la température et de l'humidité relative[21]. Par des essais en chambre dynamique, Pickrell et collaborateurs.[27] ont montré que, dans les conditions d'essai, l'augmentation de la température et la baisse de l'humidité relative entraînaient une augmentation de la quantité de formaldéhyde gazeux émis par les panneaux de particules et le contre-plaqué. Contrairement aux autres composés organiques volatils, qui émettent de grandes quantités de gaz pendant seulement un mois ou un an, le formaldéhyde à une demi-vie d'émission de 4,4 ans[30]. Cela signifie que le taux d'émission diminue de moitié à chaque période de 4,4 années.

Des effets sur la fonction pulmonaire, les yeux et la gorge ont été signalés pour une concentration de formaldéhyde de 0,3 ppm[2]. Les symptomes d'exposition sont, entre autres, l'irritation oculaire (assèchement des yeux, larmes, piqûre et brûlure) et des problèmes respiratoires (maux de gorge, toux, éternuement et maux de tête). Le formaldéhyde peut aussi causer des allergies cutanées et respiratoires, des nausées et des maux de tête. Des données montrent qu'il peut entrainer la formation de tumeurs chez le rat et la souris[11]; toutefois, il n'existe encore aucune preuve qu'il puisse causer le cancer chez l'humain.

La plupart des gens peuvent déceler l'odeur du formaldéhyde à partir de teneurs supérieures à 0,1 ppm environ[14]. Ce gaz est cependant difficile à identifier, car d'habitude les sources (panneaux de particules, formol, etc.) émettent en même temps d'autres substances volatiles odorantes. Les meilleurs indicateurs de la présence de formaldéhyde sont l'irritation nasale et l'irritation oculaire.

3.3.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.3.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Il est possible de trouver des renseignements utiles sur les sources possibles de formaldéhyde par :

- l'étude des documents concernant la construction, lorsqu'il est possible de se les procurer
- l'étude des détails des rénovations
- la consultation du registre des plaintes déposées concernant la qualité de l'air dans l'immeuble
- l'inspection de certaines des zones occupées de l'immeuble
- des discussions ou des entrevues informelles avec les occupants de l'immeuble
- l'étude détaillée des méthodes d'entretien et de nettoyage

3.3.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire, car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses données aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour enregistrer les renseignements obtenus.

3.3.1.3 Démarche détaillée

Les documents se rapportant à la construction ou à la rénovation de l'immeuble spécifieront si son enveloppe a été isolée à la mousse d'urée formaldéhyde (MIUF). Le cas échéant, la quantité utilisée doit être déterminée; il faut aussi se renseigner afin de savoir si on s'est servi de dispositifs d'étanchéité pour la retenir à l'intérieur. La MIUF est une forte source potentielle de formaldéhyde.

Les documents doivent aussi indiquer quelles parties de l'immeuble ont été rénovées (modifications structurales, peinture, remplacement des carreaux du plafond ou des tapis) au cours des dernières années. Ces endroits doivent être inspectés et leurs occupants, questionnés.

Les documents ou l'inspection révéleront les parties de l'immeuble (par exemple, les magasins) où l'on s'est beaucoup servi de panneaux de particules ou de contre-plaqué non étanches. Lorsque ces matériaux ont été étanchéifiés après la pose, il faut déterminer la méthode d'étanchéification utilisée. Normalement, deux couches d'une peinture pare-vapeur ou d'un vernis à base de polyuréthane sont nécessaires pour que la protection soit adéquate. Lorsque les matériaux ne sont pas étanches ou que la protection est inadéquate, il faut aussi faire une entrevue des employés travaillant dans ces zones.

Les méthodes de nettoyage et d'entretien (par exemple, le lavage des murs et des tapis ou l'application de polis à meubles) peuvent aussi entraîner la libération de formaldéhyde dans l'air. Voir à vérifier si certaines des plaintes ont été déposées à la suite d'activités de ce genre.

De faibles sources sont capables de réémettre du formaldéhyde qu'elles auraient absorbé. Voilà pourquoi il est important de déterminer l'importance des symptômes par rapport au moment de la journée, au jour de la semaine et à la saison.

3.3.1.4 Évaluation

Parmi les symptômes de l'exposition au formaldéhyde, mentionnons : difficulté à respirer, irritation des yeux, du nez et de la gorge, maux de tête, toux, fatigue, nausées ainsi qu'éruptions cutanées. Comme ces symptômes surviennent aussi en cas d'exposition à certains autres composés organiques, ils ne permettent pas à eux seuls de diagnostiquer la pollution par le formaldéhyde.

Comme beaucoup de sources sont des matériaux utilisés dans la construction de l'immeuble ou des meubles, le taux d'émission est assez constant. Lorsque la ventilation est interrompue chaque nuit et à chaque fin de semaine, les symptômes sont donc plus prononcés en matinée et sont particulièrement forts le lundi. Lorsque l'apparition des symptômes correspond au moment du nettoyage, c'est là une indication raisonnable du fait que les matières utilisées sont en cause, sans que leur composante responsable ne soit nécessairement le formaldéhyde.

Les manifestations du formaldéhyde sont quelque peu différentes de celles de certains autres polluants atmosphériques – par exemple, le monoxyde de carbone – dont la

plupart des sources sont fortes et faciles à identifier. Les seules sources de formaldéhyde qu'il est probable d'identifier pendant l'évaluation préliminaire sont la MIUF et de grandes quantités de contre-plaqué ou de panneaux de particules non étanches. En réalité, il est peu probable de trouver l'une ou l'autre de ces sources dans un immeuble à bureaux. Il est beaucoup plus probable que les bureaux contiennent une multitude de sources faibles telles que celles décrites au début du présent paragraphe. Elles sont très difficiles à identifier. Il est donc possible que l'évaluation préliminaire ne permette de découvrir aucune source de formaldéhyde.

3.3.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Une demi-journée ouvrable doit être allouée pour l'évaluation préliminaire d'un immeuble d'une superfice de 10 000 m². Le temps exact dépend de la complexité de l'immeuble, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes déposées.

3.3.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Conserver et classer toutes les fiches techniques, les photographies ainsi que les observations faites et les réponses obtenues aux questions posées.

3.3.2 Étape II - Techniques simples de mesure

3.3.2.1 Description des techniques

Les détecteurs de formaldéhyde passifs font intervenir la diffusion de ce gaz entre l'air et un milieu adsorbant. Les temps d'exposition nécessaire sont de 1-7 jours. Les détecteurs sont ensuite envoyés à un laboratoire qui en fait l'analyse.

3.3.2.2 Équipement

Les seuls articles nécessaires sont les détecteurs de formaldéhyde passifs. Il est possible de se les procurer auprès de DuPont (Pro-Tek C-60) ou de Air Quality Research International (AQRI PF-1).

3.3.2.3 Démarche détaillée

Des tests doivent être effectués tant dans des endroits où la présence de formaldéhyde n'est pas prévue (endroits témoins) que dans ceux où l'évaluation préliminaire la prévoit (endroits-tests). Bien qu'il soit recommandé de faire des échantillonnages à l'extérieur (à la prise d'air et à la bouche d'évacuation), cela peut s'avérer impossible car les détecteurs décrits ci-dessus ont besoin d'être exposés longtemps, en l'absence de vent et dans des conditions sèches. Lorsque l'évaluation préliminaire n'a permis de déceler aucune source, il faut placer des détecteurs dans toutes les parties de l'immeuble (par exemple, un ou deux par étage).

Les détecteurs sont conservés dans des sacs scellés afin de les préserver d'une exposition accidentelle. Les sacs sont ouverts au début de l'exposition et les détecteurs sont mis en place, habituellement 1-2 m au-dessus du plancher. À la fin de la période d'exposition les détecteurs sont remis dans les sacs et envoyés immédiatement à l'analyse. Les

détails concernant le temps d'exposition sont notés sur l'étiquette attachée aux sacs contenant les détecteurs; ils sont aussi inscrits sur une fiche technique comportant aussi l'identification du détecteur et le lieu d'échantillonnage. Un exemple de fiche technique adéquate est présentée à la figure 3.3.1.

Comme nous l'avons déjà mentionné, une vaste gamme de matériaux synthétiques émettent du formaldéhyde; le procédé de fabrication, le sac, les adhésifs et l'encre peuvent donc tous contaminer les détecteurs. Voilà pourquoi il faut toujours se servir de détecteurs vierges, c'est-à-dire de détecteurs fabriqués dans le même lot que ceux ayant servi à l'échantillonnage et conservés et analysés dans les mêmes conditions. Toutefois, c'est là la seule différence, les sacs ne sont pas ouverts et les détecteurs ne sont pas exposés à l'air. Pour obtenir la vraie concentration de formaldéhyde présente au lieu d'échantillonnage, il s'agit de soustraire la concentration moyenne des détecteurs vierges de la concentration mesurée dans l'échantillon. Le problème de la contamination pendant le stockage contribue aussi à la courte durée de conservation des détecteurs de formaldéhyde passifs. Ne pas utiliser les détecteurs après la date limite d'utilisation recommandée.

3.3.2.4 Évaluation

Les concentrations mesurées doivent être comparées aux valeurs suivantes :

- teneur normale à l'extérieur : moins de 0,02 ppm
- teneur normale à l'intérieur : 0,03 – 0,06 ppm
- norme de Santé et Bien-être social Canada : 0,1 ppm
- norme ASHRAE : 0,4 ppm
- MPT ACGIH : 1 ppm
- SAE OSHA : 2 ppm

Lorsque l'un ou l'autre des détecteurs indique une concentration de formaldéhyde dépassant 0,1 ppm (ou une teneur intégrée de plus de 0,1 ppm/h) il faut procéder à d'autres essais afin de vérifier s'il y a vraiment un problème.

3.3.2.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Au début et à la fin de la période d'exposition, il faut quinze minutes par détecteur pour l'emballage et pour l'enregistrement des données nécessaires. Le laboratoire qui s'occupe des analyses prend habituellement d'une à trois semaines avant d'envoyer les résultats trouvés.

3.3.2.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les documents de travail et le rapport du laboratoire qui a effectué l'analyse doivent tous être conservés et classés.

3.3.3 **Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé**

3.3.3.1 Description des techniques

Les méthodes permettant actuellement le contrôle du formaldéhyde sont compliquées; de plus, il n'est pas évident de différencier celle qui est la plus propice dans les

FORMALDÉHYDE - FICHE TECHNIQUE POUR LES DÉTECTEURS PASSIFS

Type de détecteur: _____ Immeuble: _____

Temps d'exposition recommandé: _____ Usager: _____

Numéro du détecteur	Étage	Endroit	Début (heure et date)	Fin (heure et date)

Figure 3.3.1 Formaldéhyde - Fiche technique pour les détecteurs passifs

immeubles à bureaux (où il est nécessaire d'utiliser une technique de grande sensibilité et de prélever un grand nombre d'échantillons). Deux méthodes d'analyse sont communément utilisées, elles font toutes deux intervenir des réactions chimiques avec le formaldéhyde donnant un produit coloré en solution dans l'eau. Dans l'une des méthodes, les échantillons sont prélevés par absorption du formaldéhyde dans l'eau, puis analysés à l'aide d'un spectromètre de laboratoire ordinaire. Dans l'autre méthode, on se sert d'un instrument spécialement conçu pour prélever directement des échantillons d'air dont le formaldéhyde est extrait à l'eau à l'intérieur même de l'appareil. Chaque méthode a ses avantages et ses désavantages : dans le cas de la première méthode, le prélèvement des échantillons se fait à l'aide de deux conimètres à liquide montés en série et de pompes étalonnées, mais l'analyse en laboratoire est simple et donne des résultats fiables; dans le cas de la seconde méthode, le prélèvement des échantillons d'air au moyen de sacs est simple et rapide, mais l'analyseur est fragile et sujet à des problèmes d'étalonnage.

On a montré que ces méthodes complexes ne sont ni plus sensibles, ni plus précises que les détecteurs passifs, bien qu'elles soient capables d'une plus grande exactitude[29]. Le principal avantage de ces méthodes est l'obtention immédiate de résultats. Ceux-ci doivent être traités avec soin lorsque le temps d'échantillonnage est court (une heure au maximum) et qu'on soupçonne que les matériaux de construction ou les meubles renferment du formaldéhyde, étant donné la variation des taux d'émission de cette substance en fonction de la température et de l'humidité. Ces méthodes conviennent cependant à l'identification de sources dont les émissions sont de courte durée telles que les matériaux de nettoyage.

3.3.3.2 Équipement

L'équipement nécessaire varie selon le type d'échantillons prélevés (air ou eau) et l'analyseur utilisé. Voici la liste de l'équipement nécessaire dans les deux cas :

Méthode 1 (échantillonnage)

- pompes servant à l'échantillonnage de l'air (par exemple, Gilian, ou SKC, ou DuPont Alpha)
- étalonneurs de débit (par exemple, le "Buck Calibrator ou le débitmètre à bulle A de la MSA)
- deux conimètres montés en série
- eau distillée

Méthode 1 (analyse)

- un spectromètre UV-visible (par exemple, le modèle DU de la Beckman)
- une cellule d'une longueur de 4 ou de 10 cm pour l'analyse des solutions-tests
- substances chimiques voulues pour la méthode de dosage à l'acide chromotropique ou à la pararosaniline
- verrerie de laboratoire nécessaire à la préparation et au mélange quantitatif des solutions (béchers, flacons, pipettes, burettes, etc.)
- une source de formaldéhyde servant à préparer des solutions étalons justes (par exemple, le formol ou le dérivé bisulfitique sodique du formaldéhyde)

Méthode 2 (échantillonnage)

- sacs de téflon
- pompe ou soufflets servant à remplir les sacs

Méthode 2 (analyse)

- analyseur TGM-555
- tubes de rechange pour l'analyseur
- verrerie, substances chimiques et balance servant à préparer les solutions de réactif pour l'analyse
- tubes perméables émettant des quantités connues de formaldéhyde et servant à la préparation des mélanges de gaz d'étalonnage
- cylindre d'air pur servant à la préparation des gaz étalons
- étalonneur comportant une étuve destinée au séchage des tubes perméables et pompe permettant de contrôler le débit et le mélange des gaz (par exemple le modèle SC-100)
- débitmètre servant à étalonner la pompe SC-100 (voir ci-dessus)

3.3.3.3 Démarche détaillée

Méthode 1 :

Il est nécessaire de se servir de deux conimètres pour extraire le formaldéhyde de l'air avec une efficacité de 95% (avec un seul appareil l'efficacité n'est que de 85%). Ils doivent être tous deux remplis d'une quantité connue d'eau distillée (un volume de 20 mL est adéquat). Les pompes doivent être étalonnées chaque jour avant l'utilisation en se servant de deux conimètres, de façon à reproduire la pression que la pompe devra subir pendant les essais. Les conimètres sont reliés en série à la pompe. D'habitude, un bouchon de fibre de verre est disposé entre la pompe et les conimètres, afin d'empêcher que l'eau ne pénètre dans la pompe. Un débit de pompage de 100 mL/min est pertinent pour une durée d'échantillonnage de 1-3 h.

Le contenu de chacun des deux conimètres est analysé séparément, puis les concentrations de formaldéhyde trouvées sont additionnées. L'analyse fait intervenir des réactions chimiques donnant des produits colorés. L'intensité de la couleur obtenue est proportionnelle à la quantité de formaldéhyde présent en solution; elle est mesurée par l'absorption de la lumière traversant une épaisseur connue de la solution. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 580 nm pour la réaction à l'acide chromotropique et de 570 nm pour la réaction à la pararosaniline.

Au moins cinq solutions étalons contenant différentes quantités connues de formaldéhyde sont préparées et analysées de la même façon que les solutions recueillies dans les conimètres. Il est ainsi possible de préparer une courbe d'étalonnage permettant de déterminer les concentrations de formaldéhyde présentes dans les conimètres. L'eau distillée servant au prélèvement des échantillons et à la préparation des solutions doit être soumise à la même analyse (dosage du blanc); lorsque du formaldéhyde y est décelé, il faut apporter une correction aux concentrations de formaldéhyde dans les échantillons. Il est possible de calculer la concentration de

formaldéhyde dans l'air échantillonné en connaissant le volume d'air aspiré à travers les conimètres.

Méthode 2 :

Utiliser des sacs de 5 ou de 10 L après avoir vérifié s'ils étaient exempts de fuite.

L'analyseur TGM-555 fonctionne soit au courant continu avec une pile de 12 volts, soit au courant alternatif. À l'entrée de l'analyseur, une pompe à débit variable introduit le mélange air/formaldéhyde. À l'intérieur de l'analyseur, l'air se mélange avec trois réactifs en solution dans de l'eau. Un système complexe de tubes de verre assure un mélange complet des réactifs aussi bien entre eux qu'avec le formaldéhyde. La réaction qui a lieu dans l'analyseur est lente et elle continue pendant l'enregistrement de l'absorption. C'est pourquoi il est important que le débit de la solution (débit de pompage) soit le même pour tous les échantillons et le mélange étalon.

Dans l'étalonneur, la température du tube perméable (par conséquent, son taux d'émission de formaldéhyde) est réglée avec précision. Pendant l'étalonnage, il faut une heure pour que le tube atteigne la température de l'étuve. Des mélanges contenant différentes concentrations de formaldéhyde dans l'air sont alors préparés en faisant passer différents débits d'air au-dessus de ce tube. Pour déterminer les concentrations, il est nécessaire de connaître à la fois le taux d'émission du tube et le débit des mélanges. Le premier se calcule d'après des renseignements fournis par le fabricant du tube et d'après la température de l'étuve; le second est déterminé par étalonnage au moyen du débitmètre.

Lorsque cette méthode d'étalonnage est suivie, la réponse du TGM-555 au formaldéhyde s'est montrée linéaire sur la plage allant de 0 à 5 ppm. Les erreurs combinées se montent à ±10% et la concentration décelable la plus faible est de l'ordre de 0,01 ppm. La vitesse de la réaction qui a lieu dans l'analyseur TGM-555 est fonction de la température, de sorte que les concentrations mesurées varient à moins que les solutions de réactifs n'aient eu le temps de venir à la température ambiante avant le début de l'analyse et que cette température demeure constante pendant toute l'analyse. Il est aussi probable que cette variation des résultats en fonction de la température entraîne des réponses différentes de l'instrument au cours d'une journée. Voilà pourquoi il est nécessaire de procéder à un étalonnage à tout le moins aux quatre heures.

Il faut noter la température et l'humidité relative aux endroits d'échantillonnage, car ces paramètres affectent les taux d'émission du formaldéhyde.

3.3.3.4 Évaluation

Les concentrations mesurées doivent être comparées aux valeurs suivantes :

- teneurs normales à l'intérieur : inférieure à 0,02 ppm
- teneurs normales à l'intérieur : 0,03 – 0,06 ppm
- norme de Santé et Bien-être social Canada : 0,1 ppm
- norme ASHRAE : 0,4 ppm

- MPT ACGIH : 1 ppm
- SAE OSHA : 2 ppm

3.3.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Méthode 1 :

Il faut prévoir environ 1 heure pour l'étalonnage de la pompe et le remplissage des conimètres avant de commencer un échantillonnage.

L'analyse en laboratoire demande passablement de temps à cause des diverses étapes qu'elle fait intervenir. Lorsque la méthode à la pararosaniline est utilisée, chaque échantillon doit reposer pendant une heure après l'addition de tous les réactifs pour que la couleur se développe complètement.

Méthode 2 :

L'analyseur TGM-555 est un appareil délicat qui doit être entretenu en laboratoire. Après un certain temps, les tubes flexibles servant à relier les sections de verre et ceux utilisées dans la pompe à liquide durcissent et commencent à fuir. En outre, lorsque les photodétecteurs du colorimètre ne sont pas utilisés, ils perdent de leur sensibilité et ont besoin d'être réactivés. À moins que l'instrument ne soit utilisé fréquemment, il faut donc prévoir une journée pour vérification et entretien.

La mesure de la concentration du formaldéhyde sur les lieux au moyen de l'analyseur TGM-555 demande beaucoup de temps. Il faut une heure pour que le tube perméable atteigne la température de l'étuve de l'étalonneur. Le mesurage de la concentration pour chaque échantillon étalon (il en faut trois) demande une demi-heure (10 minutes pour mesurer le débit et 15 minutes pour procéder aux mesures avec l'analyseur).

Bien que 15 minutes environ sont nécessaires aux solutions pour traverser l'analyseur, l'appareil prend un certain temps à se stabiliser et le mesurage de la concentration de chaque échantillon peut prendre 15 minutes. En tenant compte du temps d'étalonnage, il est possible d'analyser environ 25 échantillons par jour.

L'analyse des données enregistrées ne demande qu'un simple calcul et peut normalement être complétée en une demi-journée.

3.3.3 6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Toutes les fiches techniques et les autres documents de travail doivent être complétés et conservés avec le rapport qui est préparé avec les mesures.

3.4 MATIÈRES PARTICULIAIRES

L'expression "matières particulaires" décrit plusieurs espèces, soit la poussière, les vapeurs de gaz, les aérosols, la fumée et les petites particules d'origine biologique. La forme, les dimensions et la composition des matières particulaires sont multiples. La première étape de leur classification consiste habituellement à supposer qu'elles sont

sphériques et que la dimension mentionnée est le diamètre (largeur) de la sphère (voir le tableau 3.4.1). La masse est fonction du volume qui, dans le cas d'une sphère, est fonction du diamètre au cube. Il s'ensuit que la distribution de la masse des particules sera passablement différente de la distribution de leur nombre (qui varie en fonction du diamètre). Par exemple, les particules ayant un diamètre inférieur à 0,1 µm (micromètre) constituent 1% de la masse des matières particulaires présentes dans l'atmosphère, mais 80% de leur nombre; par contre, les proportions des particules ayant un diamètre supérieur à 1 µm sont de 70% en masse et uniquement de 0,1% en nombre [3]. Environ 50% de la masse des matières particulaires en suspension vient des particules dont le diamètre est compris dans la plage 1–5 µm [3]. Bien que le comportement des matières particulaires dépende jusqu'à un certain point du déplacement de l'air, les particules ayant un diamètre supérieur à 10–20 µm ont tendance à se déposer. Les particules de cette dimension sont aussi visibles à l'oeil nu dans des conditions d'éclairage propices.

Type de matières particulaires	Plage des dimensions (µm)
poussière atmosphérique	0.001 - 20
virus	0.003 - 0.05
fumée de tabac	0.01 - 1
smog	0.01 - 2
matières particulaires dommageables aux poumons	0.5 - 5
bactéries	0.3 - 30
poussière de charbon	1 - 100
cendres volantes	1 - 200
nuage/brouillard	2 - 70
spores végétales	10 - 30
pollen	10 - 100
brume	70 - 200
sable	90 - 2000

Tableau 3.4.1 Plage des dimensions de certains types de matières particulaires atmosphériques communes

Pour l'établissement de normes, les matières particulaires sont habituellement classées en matières particulaires totales en suspension (MPTS) ou en matières particulaires respirables en suspension (MPR ou MPRS). Les matières particulaires inhalables correspondent aux MPTS, car la dimension limite supérieure est dans les deux cas le diamètre des particules ayant tendance à quitter l'atmosphère et à se déposer. Les matières particulaires respirables sont des particules, assez petites pour ne pas être piégées dans les muqueuses du nez, qui pénètrent dans les bronches et les poumons et s'y déposent. On a signalé diverses valeurs pour le diamètre maximum des matières particulaires respirables : la valeur supérieure peut atteindre 10 µm [38] et la valeur inférieure, 2,5 µm [17]. On considère habituellement que les matières particulaires ayant un diamètre inférieur à 0,1 µm ne posent aucun problème, car :

- elles peuvent être exhalées plutôt que piégées;
- elles peuvent être piégées, puis passer dans le sang et être éliminées;
- leur masse ne constitue qu'une faible partie de la masse totale des matières particulaires.

La composition, ou nature, des matières particulaires est importante quand vient le temps de déterminer si elles sont ou non dangereuses. La plupart des matières particulaires minérables et animales sont dites "poussières nuisibles", une expression signifiant que, présentes en quantités moyennes, elles n'endommagent pas la surface des poumons, bien qu'elles puissent entraîner des réactions allergènes [22]. L'amiante est une exception importante à cette règle. Dans les immeubles à bureaux, les sources de poussières nuisibles sont, entre autres, le plâtre, la fibre de verre, le coton, la laine, certains tissus synthétiques, le papier, les plantes et les personnes.

À l'intérieur, la fumée de tabac est habituellement la principale source de particules respirables. Les matières particulaires (dont 8% de la masse est constituée principalement de fumée de tabac) consistent en un mélange d'environ 3800 substances chimiques différentes [12]. Les principaux constituants en sont le goudron, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (par exemple, les benzopyrènes), divers composés hétérocycliques et des métaux comme le cadmium et le plomb. L'agrégation de ces substances pendant la combustion donne des matières particulaires de petite dimension ou des vapeurs.

Certaines fibres minérales comme l'amiante et un certain nombre d'hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans la fumée de tabac ont été identifiés comme étant des agents tumorigènes actifs [9]. L'utilisation d'amiante dans les immeubles fait maintenant l'objet de restrictions strictes. De telles restrictions n'ont cependant pas été imposées dans le cas du tabac, qui demeure à l'origine de controverses.

L'atmosphère intérieure des immeubles peut aussi contenir des particules liquides ou des aérosols. Ces aérosols transportent souvent des spores, des champignons, des bactéries et des virus venant de l'extérieur ou produits par les occupants. Ces microorganismes peuvent circuler dans les systèmes de ventilation; les bactéries et les champignons peuvent se déposer et se multiplier dans les endroits humides ou dans l'eau stagnante. On traite de ces contaminants au paragraphe 3.7.

Des sources de matières particulaires extérieures à l'immeuble (par exemple, poussières, brouillard, smog et fumée) peuvent aussi contribuer aux teneurs présentes à l'intérieur de l'immeuble. Il existe, par conséquent, des directives ou des règlements concernant les concentrations admissibles tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des immeubles (voir le paragraphe 3.4.3.4 et l'appendice 5.2). Plusieurs études ont montré que la concentration moyenne de matières particulaires respirables en fonction du temps est généralement plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur. Les concentrations typiques à l'intérieur vont de 100 à 500 $\mu g/m^3$ [25].

Le système de circulation de l'air dans beaucoup d'immeubles à bureaux construits récemment comporte des dispositifs qui éliminent les matières particulaires. Suit une liste de certains dispositifs adéquats avec, entre parenthèses, la plage de matières particulaires éliminées :

- filtres à air ordinaire (3–100 μm)
- filtres à air à grande efficacité (hepa) (0.01–5 μm)
- dépoussiéreurs électrostatiques (0,01–10 μm)
- lits garnis (0.01–100 μm)

3.4.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.4.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Dans le cas des matières particulaires, les techniques à envisager sont, entre autres :

- l'étude des détails des rénovations récentes;
- la consultation du registre des plaintes concernant la qualité de l'air dans l'immeuble;
- l'inspection de certaines des zones occupées de l'immeuble;
- l'inspection des chambres des machines;
- des discussions ou des entrevues informelles avec des occupants de l'immeuble.

Comme les matières particulaires peuvent laisser des traces visibles, les inspections peuvent se montrer très utiles.

3.4.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire, car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses données aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour noter les renseignements obtenus.

3.4.1.3 Démarche détaillée

Faire une tournée d'inspection des zones rénovées récemment, des chambres des machines et des aires ayant fait l'objet de plaintes. Les listes qui suivent indiquent le type de renseignements nécessaires pour évaluer la probabilité de contamination par des matières particulaires.

Liste de vérifications concernant les **observations** :

- y a–t–il de la poussière sur les surfaces horizontales?
- y a–t–il des marques de saleté autour des diffuseurs ou de la bouche d'évacuation de l'air?
- quelle est la proportion de fumeurs dans l'aire ayant fait l'objet de plaintes?

Liste de vérifications concernant **l'exploitation de l'immeuble** :

- la prise d'air est–elle obstruée par un objet (par exemple un nid d'oiseaux) qui pourrait libérer des matières particulaires dans la ventilation?
- est–ce que les conduites de ventilation sont isolées à l'intérieur?
- depuis quand les conduites de ventilation ont–elles été nettoyées?
- existe–t–il des filtres à matières particulaires dans l'immeuble?
- s'il en existe, les filtres à matières particulaires sont–ils disposés dans la prise d'air frais, dans le circuit de recyclage de l'air ou dans le circuit d'admission de l'air?

- à quelle intervalle les filtres sont-ils changés?
- est-ce que les recommandations du fabricant concernant le changement des filtres sont suivies?
- se sert-on d'humidificateurs en hiver?
- le cas échéant, y a-t-il des dépôts d'eau dure sur l'équipement?
- de quelle façon les dépôts d'eau dure sont-ils éliminés de l'équipement d'humidification?
- à quelle intervalle les dépôts laissés par l'eau sont-ils éliminés de l'équipement d'humidification?

Liste de vérifications concernant les **plaintes et les entrevues avec les occupants** :

- s'est-on plaint de la présence de poussière dans une partie de l'immeuble?
- arrive-t-il que de la poussière sorte des diffuseurs?
- est-ce que des personnes dans l'immeuble souffrent souvent de symptômes tels asséchement de la gorge ou du nez, toux ou éternuement?
- est-ce que des personnes souffrent d'allergies respiratoires pendant leur séjour dans l'immeuble?
- les problèmes sont-ils saisonniers?
- à quel moment de la journée les symptômes sont-ils le plus prononcés?
- quel est le jour de la semaine où les symptômes sont le plus prononcés?
- a-t-on exigé des zones pour non-fumeurs?
- s'est-on plaint d'odeurs de tabac?
- s'est-on plaint d'autres odeurs? Le cas échéant, à quoi ces odeurs s'apparentent-elles?
- y a-t-il de grandes quantités de papiers stockés quelque part dans l'immeuble?
- y a-t-il des déplacements fréquents de papier dans une partie de l'immeuble?

3.4.1.4 Évaluation

Les sources les plus probables de matières particulaires à l'intérieur d'un immeuble à bureaux sont :

- rénovations;
- air extérieur;
- conduites de ventilation;
- dépôts dans les humidificateurs lorsque présence d'eau dure;
- stockage et déplacement de grandes quantités de papier;
- fumée de tabac.

Les observations caractérisant chacune de ces sources sont indiquées ci-dessous. L'exposition aux matières particulaires, tout comme l'exposition à certains autres polluants atmosphériques, entraîne des symptômes qui ne sont pas spécifiques et qui ne doivent pas servir à identifier les sources de polluants en l'absence de preuves réelles de leur existence.

- Il est presque certain que des rénovations entraînant des modifications de la structure poseront un problème de matières particulaires. Toutefois, comme ces particules ont tendance à être grosses, le problème ne devrait pas se faire sentir

beaucoup plus loin que l'endroit modifié (à moins que les particules ne soient transportées par le système de ventilation) et ne devrait pas durer longtemps après la fin des rénovations;

- lorsqu'un système filtrant est installé dans la prise d'air et que ce système est bien entretenu, il est peu probable que l'air extérieur soit à l'origine des matières particulaires. Toutefois, s'il n'existe aucun système filtrant et que des matériaux en vrac quelconques soient observés autour de la prise d'air, l'air extérieur peut alors être responsable des problèmes observés. Les allergies qui apparaissent à la saison du pollen sont aussi probablement causées par l'air extérieur (le pollen devrait être éliminé par le filtre);

- la présence de saletés autour des diffuseurs indique que le système de ventilation charrie des matières particulaires dans la zone étudiée. Ces matières peuvent avoir leur origine dans les conduites de ventilation lorsque l'immeuble est ancien, que les conduites n'ont jamais été nettoyées ou qu'elles sont isolées par l'intérieur;

- les dépôts crayeux apparaissant autour des diffuseurs peuvent être des minéraux produits par l'utilisation d'une eau dure dans le système d'humidification. L'observation de dépôts minéraux sur les pales de l'humidificateur et la réception de plaintes relatives à des odeurs de poussière ou de ciment, ou de plâtre pendant le fonctionnement des humidificateurs ou après leur nettoyage constitueraient d'autres indices de l'existence d'un problème de ce genre, qui serait évidemment plus grave en hiver;

- le stockage et le déplacement de grandes quantités de papier est une source de matières particulaires que l'observation et la discussion avec les manutentionnaires devraient rendre évidente.

- le tabac peut être à l'origine de matières particulaires causant un problème lorsqu'il y a un grand nombre de fumeurs dans la zone étudiée ou que ceux-ci fument plus d'un paquet par jour au travail, ou que la circulation d'air est mauvaise dans une aire où des personnes fument régulièrement, ou que le poste de travail de personnes ne fumant pas est situé entre celui des fumeurs et la bouche d'évacuation de l'air. D'habitude, les plaintes du genre de celles indiquées au paragraphe 3.4.1.4 sont un bon indice de problèmes causés par la fumée.

Les symtômes de l'exposition aux matières particulaires sont, entre autres, la sécheresse des yeux, du nez et de la gorge et les manifestations de l'irritation par la poussière comme la toux, les éternuements et les allergies respiratoires.

3.4.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Une demi-journée ouvrable doit être allouée à l'évaluation préliminaire d'un édifice d'une superficie de 10 000m². La durée exacte dépend de la complexité de l'immeuble, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes déposées.

3.4.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les photographies, les observations enregistrées et les réponses obtenues aux questions posées doivent toutes être conservées et classées.

3.4.2 **Étape II – Techniques simples de mesure**

Cette section est sans objet.

3.4.3 **Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé**

3.4.3.1 Description des techniques

Un volume d'air mesuré est pompé à travers un filtre pesé au préalable; la masse totale de matières particulaires recueillies correspond à la différence de masse du papier filtre avant et après l'opération. L'échantillon prélevé peut représenter soit les matières particulaires totales en suspension (MPTS) (par pompage directement à travers le papier filtre) ou les matières particulaires respirables (MPR) (par élimination des matières particulaires les plus lourdes dans un cyclone avant que l'air ne passe dans le papier filtre). L'exactitude des mesures dépend de la masse d'échantillon recueillie, qui est normalement voisine de la limite inférieure de sensibilité de la balance utilisée. Il est possible d'améliorer la méthode en comptant les différents types de particules présentes au moyen d'un microscope électronique. Les particules dont le diamètre est compris entre 0,003 et 10 µm peuvent être décelées au microscope électronique. Cette méthode permet d'identifier facilement certaines particules comme les spores ou les fibres d'amiante.

3.4.3.2 Équipement

- pompes à air avec, le cas échéant, chargeur de batterie et minuterie. Les pompes à batteries Gilian ou Dupont Alpha sont adéquates. Des pompes à courant alternatif sont d'utilisation moins pratique, mais elles peuvent pomper des volumes d'air plus importants;
- étalonneurs de débit pour les pompes (par exemple, le "Buck Calibrator" ou le débitmètre à bulle modèle A de MSA);
- cassettes filtres (pour les MPTS) ou le combiné cyclone–filtre (pour les MPR)
- papiers filtres hydrophobes, habituellement d'un diamètre de 25 mm et à pores de 0,8 µm;
- vase de Pétrie et dessicateur pour stocker les papiers filtres;
- balance permettant de peser des masses d'aussi peu que 0,00001 g (0,01 mg) (par exemple, le modèle Sartorius 1712).

3.4.3.3 Démarche détaillée

Normalement, les essais portent sur deux types d'endroits : des endroits témoins (qui sont censés être propres, où les teneurs en matières particulaires sont faibles) et des endroits–tests (où les matières particulaires peuvent être à l'origine de problèmes). Cette méthode permet de comparer avec plus de fiabilité les données obtenues dans différents immeubles. Les endroits–tests sont habituellement choisis en fonction des résultats obtenus à l'évaluation préliminaire.

Les endroits témoins doivent comprendre :

- la prise d'air;
- si possible, un autre endroit à l'extérieur;
- des endroits à l'intérieur des conduites d'alimentation en air de l'immeuble, en aval du système de filtration (lorsqu'il existe dans l'immeuble un système efficace de filtration des matières particulaires);
- des aires intérieures où ne sont pas prévues des concentrations élevées de matières particulaires.

Les endroits-tests doivent comprendre :

- la bouche d'évacuation de l'air;
- des aires identifiées comme étant des sources possibles de matières particulaires pendant l'évaluation préliminaire;
- d'autres endroits ayant fait l'objet de plaintes d'une mauvaise qualité de l'air.

Lorsque cette méthode de mesures est utilisée dans un endroit relativement propre, il survient une difficulté : la masse des matières particulaires recueillies est très petite. Quand l'échantillonnage porte sur les MPTS, il est possible d'augmenter la masse prélevée en se servant d'une pompe de grande capacité pour aspirer davantage d'air à travers le papier filtre. Toutefois, dans le cas des MPRS, le débit d'air doit être maintenu à seulement 1,7 L/min, afin que le cyclone puisse reproduire l'effet tamisant des muqueuses nasales. À un débit de 1,7 L/min l'échantillonnage d'air renfermant des MPRS à raison de 100 $\mu g/m^3$ pendant 8 h laisserait un dépôt de 0,08 mg de matières particulaires sur un papier filtre. Cette masse étant si faible, l'absorption d'eau par le papier filtre, l'existence de courant d'air autour de la balance et la limite de détection de celle-ci (0,01 mg), sont tous des facteurs affectant la quantité mesurée.

Il est possible de se servir de papiers filtres hydrophobes afin de diminuer les erreurs causées par l'absorption de quantités différentes d'eau pendant l'échantillonnage. C'est aussi la raison pour laquelle les papiers filtres sont stockés dans un dessicateur sauf pendant le prélèvement des échantillons et leur pesée. Des vases de Pétrie numérotés servent à stocker et à identifier chaque papier filtre pendant les essais. Il est impossible d'empêcher complètement les papiers filtres d'absorber l'eau. Pour minimaliser les erreurs, il faut donc préparer deux échantillons vierges de références (appelés aussi les blancs) chaque jour. Ceux-ci sont pesés en même temps et stockés dans le même dessicateur que les papiers filtres échantillons. Pendant la durée de l'échantillonnage, les blancs sont exposés à l'air, sans pompage toutefois, de sorte qu'il ne s'y accumulent que de petites quantités de matières particulaires. Toute variation de masse observée pour les blancs sert à corriger les résultats obtenus pour les échantillons.

Lorsque la pompe fonctionne à un débit de 1,7 L/min, le cyclone élimine toutes les particules ayant un diamètre supérieur à 7 µm. Bien qu'il soit spécifié que ses pores aient un diamètre de 0,8 µm, le papier filtre emprisonne aussi des matières particulaires plus petites, car ces pores sont contournées. La limite inférieure de rétention est probablement de 0,1-0,3 µm.

Le temps d'échantillonnage devrait être de 8 h tant pour les MPTS que pour les MPRS. Le débit de la pompe doit être étalonné avant chaque utilisation. L'étalonnage doit se faire avec la cassette filtre qui sera utilisée pendant les mesures; elle doit être munie d'un papier filtre.

Les données relatives à chaque papier filtre doivent être enregistrées sur une fiche technique comme celle fournie à la figure 3.4.1.

3.4.3.4 Évaluation

Il faut comparer les concentrations de matières particulaires mesurées aux valeurs suivantes :

- teneurs normales à l'extérieur : 20–80 $\mu g/m^3$,
- objectif canadien de qualité de l'air ambiant : 60–70 $\mu g/m^3$,
- concentrations normales à l'intérieur : 100–500 $\mu g/m^3$,
- norme ASHRAE concernant les matières particulaires respirables : 500 $\mu g/m^3$,
- SAE ACGIH pour les MPTS : 10 000 $\mu g/m^3$,
- SAE ACGIH/OSHA pour les MPRS : 5 000 $\mu g/m^3$.

Lorsque des teneurs supérieures à la norme ASHRAE (500 $\mu g/m^3$) sont trouvées dans les aires à bureaux, il est souhaitable de procéder à un nettoyage.

Il se peut que cette méthode n'indique pas l'existence d'un problème aux endroits où l'on fume beaucoup. La raison en est que beaucoup des matières particulaires de la fumée de tabac sont très petites et ne contribuent donc pas beaucoup à la masse de particules recueillies. Il se peut cependant qu'il y ait maintes plaintes, car certains des gaz adsorbés sur les particules sont des irritants forts.

Lorsque chaque type de matières particulaires est identifié et compté à l'aide d'un microscope électronique, les normes relatives à chaque type de particules s'appliquent. Les plus importantes sont les particules d'amiante, qui ont fait l'objet de normes de l'ACGHI. La limite supérieure acceptable pour divers types d'amiante varie de 500 à 2000 fibres par litre.

3.4.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ une heure chaque jour pour étalonner plusieurs pompes. La pesée prend environ 5 minutes par filtre avant et après l'échantillonnage. L'analyse des données et la préparation d'un rapport demandent environ une journée.

3.4.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Le rapport et les fiches techniques doivent être conservés et classés.

MATIÈRES PARTICULAIRES RESPIRABLES - FICHE TECHNIQUE

Immeuble: _____ Technicien: _____

Étage: _____ Date: _____

Endroit: _____

Échantillonnage de l'air, détails

N° de la pompe : _____

Débit : _____

Début (heure) : _____

Fin (heure) : _____

Durée totale de l'échantillonnage : _____

Volume d'air échantillonné : _____

N° du cyclone : _____

Filtre, détails (blanc/échantillon)

Type : _____

Numéro : _____

Masse avant : _____

Masse après : _____

Masse des matières particulaire : _____

Concentation ($\mu g/m^3$) : _____

Figure 3.4.1 Matière particulaires respirables - Fiche technique

3.5 RADON

Le radon, un gaz inerte radioactif, est produit pendant la désintégration naturelle d'éléments radioactifs plus lourds. Il existe deux formes de radon : le radon 222 (^{222}Rn) et le radon 220 (thoron, ^{220}Rn), qui se forment pendant la désintégration de l'uranium et du thorium et qui se décomposent assez rapidement en éléments de filiation à courte durée de vie. Les étapes de désintégration, qui sont très compliqués, apparaissent ci-dessous. Chaque désintégration s'accompagne de l'émission d'un rayonnement; il en existe trois types différents : particules alpha, particules bêta et rayons gamma. Chacun d'entre eux est défini à l'appendice 5.1. Les émissions les plus dommageables sont les particules alpha émises par les produits de filiation du radon.

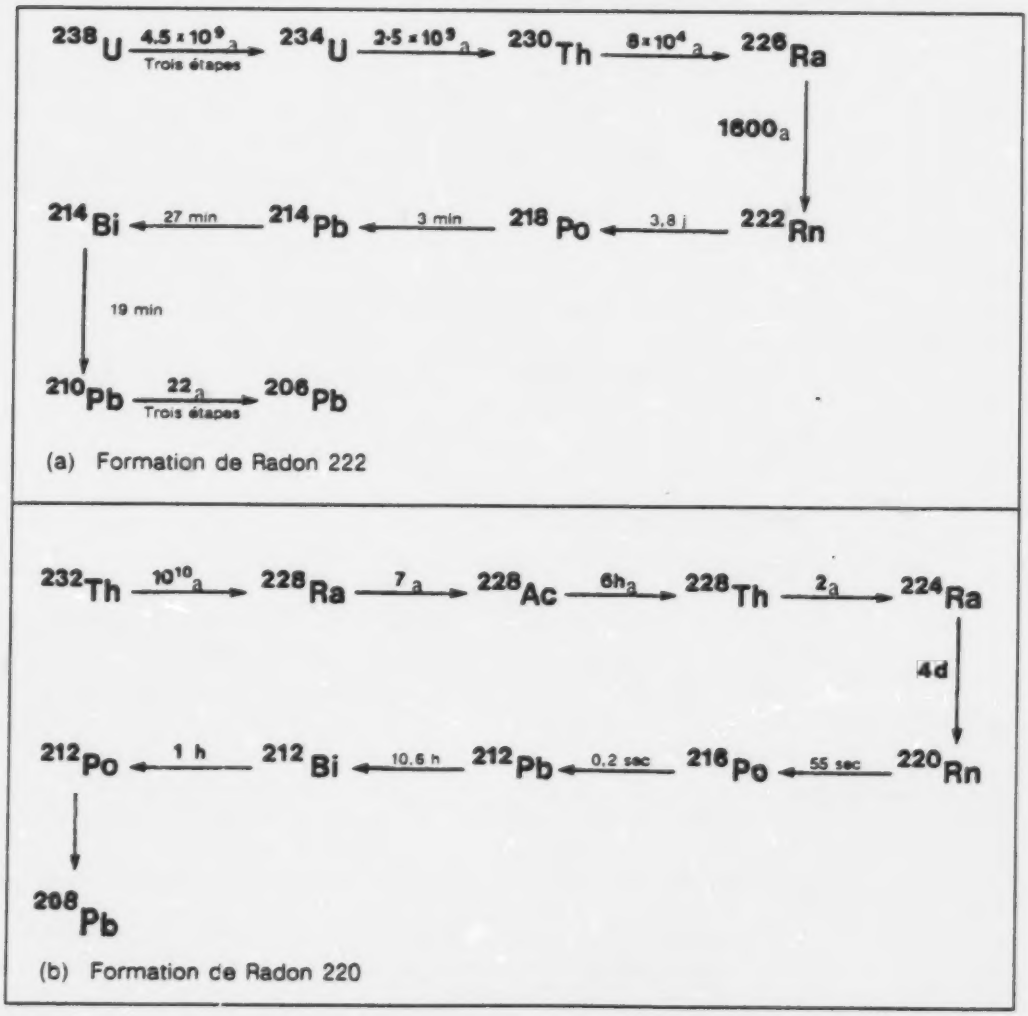

Figure 3.5.1 **Les étapes de dégradation de l'Uranium (U) et du Thorium (Th) lors de la production de deux formes différentes de Radon**

Tous les sols et maintes roches contiennent de l'uranium et du thorium et sont donc des sources de radon. À l'intérieur, les principales sources sont, entre autres, les matériaux constituant l'immeuble qui contiennent de la roche (par exemple, le béton, la brique et la pierre) ainsi que les eaux souterraines, l'alimentation en eau et le gaz naturel [28, 13].

Les pères nucléaires – l'uranium, le radium et le thorium – émettent continuellement des rayonnements. Toutefois, ces éléments étant eux-mêmes des métaux, ils demeurent piégés dans les matériaux solides qui les entourent et le rayonnement produit est rapidement absorbé. Le radon, qui est un gaz considérablement plus soluble dans l'eau que l'oxygène ou l'azote, peut par contre s'échapper en se diffusant dans l'air ou en se dissolvant dans l'eau. La mobilité du radon dans le sol est déterminée par la perméabilité de celui-ci. Le taux de diffusion peut varier en fonction de la pression barométrique. Il se produit d'autres variations journalières qui ne sont pas bien comprises.

Pendant leur désintégration, les produits de filiation du radon donnent des espèces électriquement chargées qui peuvent se fixer sur les matières particulaires. Certaines de ces matières peuvent être inhalées et retenues dans les arbres bronchiques et les poumons, où les produits de filiation du radon continuent de se désintégrer en émettant des rayonnements destructifs directement dans les tissus organiques. Les dangers pour la santé sont censés être directement proportionnels à la quantité de gaz inhalée et sont reliés au cancer des poumons. Les dangers que pose la diffusion de faibles doses à travers la peau sont minimes en comparaison de ceux posés par la même dose arrivant directement sur la plèvre. La raison en est que les particules alpha ne sont pas très pénétrantes et que la peau assure une protection adéquate contre elles.

Il est impossible d'exprimer utilement les normes concernant le radon/les produits de filiation du radon en ppm comme dans le cas des autres polluants gazeux, car plusieurs éléments sont en cause, émettant différentes particules à des taux d'émission différents. Comme le danger vient principalement des particules alpha émises par les produits de filiation du radon, le degré de pollution est défini en fonction de deux unités : la picocurie par litre (pCi/L), unité proportionnelle au nombre de particules alpha présentes dans l'air, et le niveau opérationnel (NO), unité qui tient compte du taux de ventilation ainsi que du nombre de particules alpha présentes. Pour plus de détails concernant la définition de ces unités, voir l'appendice 5.1.

3.5.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.5.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Dans le cas du radon, des renseignements utiles peuvent être trouvés par :

- l'étude des plans d'étage de l'immeuble, lorsqu'il est possible de se les procurer;
- la consultation du registre des plaintes relatives aux odeurs notées dans l'immeuble;
- l'inspection de certaines parties de l'immeuble.

Le radon est un gaz inodore et incolore dont la radioactivité est trop faible pour avoir des effets immédiats. Les humains sont donc incapables de le déceler directement, ni

lui ni ses produits de filiation. Les recherches visent donc à trouver des conditions pouvant probablement entraîner la libération, ou être associées à la libération, de radon dans l'immeuble.

3.5.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire, car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses données aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour noter les renseignements obtenus.

3.5.1.3 Démarche détaillée

La consultation des plans de l'immeuble et des discussions avec le responsable de l'immeuble indiqueront certaines zones qui ont besoin d'être inspectées, car elles contiennent des sources possibles de radon. Il peut s'agir, entre autres, de :

- installations de douches utilisées régulièrement;
- tout étage souterrain sans plancher;
- pièces où sont situées des pompes d'assèchement;
- endroits où du ciment, des pierres ou de la brique non scellés sont incorporés dans les murs ou les planchers.

De plus, une tournée des parties souterraines de l'immeuble révèlera des fissures dans les fondations et la présence d'eau stagnante.

Pendant ou après l'inspection, il est nécessaire d'obtenir des réponses aux questions suivantes :

- ces endroits sont-ils ventilés?
- est-ce que des personnes passent une partie importante de leur journée de travail dans l'un ou l'autre de ces endroits?
- est-ce que des plaintes ont été déposées concernant la présence d'odeurs dans ces endroits ou dans le voisinage?

3.5.1.4 Évaluation

Il existe une possibilité réelle que la présence de radon puisse poser des problèmes à un endroit lorsque les trois conditions suivantes sont toutes remplies :

- il existe dans l'endroit en question une forte source potentielle de radon : par exemple, l'eau souterraine ou le sol (dans un étage souterrain ou un vide sanitaire, ou par exposition à travers des fissures dans un mur ou un plancher d'un étage souterrain, ou des tuyaux ouverts), béton ou pierres non scellés, ou douches utilisées fréquemment;
- la ventilation dans cette partie de l'immeuble est minimum ou absente, ou il existe des odeurs (qui sont utiles pour indiquer si la ventilation existante fonctionne adéquatement ou non);
- des personnes travaillent dans ces endroits ou près de ces endroits.

3.5.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Une demi-journée ouvrable doit être allouée à l'évaluation préliminaire d'un immeuble d'une superficie de 10 000 m² pouvant être contaminé au radon.

3.5.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Toutes les fiches techniques et l'enregistrement de toutes les observations doivent être conservés et classés.

3.5.2 Étape II – Techniques simples de mesure

3.5.2.1 Description des techniques

Deux types de détecteurs de radon passifs sont généralement utilisés : il s'agit de boîtes métalliques remplies de charbon de bois (qui adsorbe le radon) et de détecteurs à trace alpha (qui enregistrent la présence de particules alpha). Les temps d'exposition nécessaires sont de 1–7 jours pour les boîtes de charbon de bois et de 1–3 mois pour les détecteurs à trace. Pour l'analyse, il est nécessaire d'envoyer ces deux types de détecteurs à un laboratoire.

3.5.2.2 Équipement

Les seuls articles nécessaires sont les détecteurs de radon passifs eux-mêmes. Il est possible de se les procurer auprès de l'Airchek (boîtes de charbon de bois) ou de Terradex Co. (détecteurs à trace alpha, listés sous le nom de Track Etch monitors).

3.5.2.3 Démarche détaillée

Il faut procéder à des essais aussi bien dans des endroits où la présence de radon n'est pas prévue (endroits témoins) que dans des endroits où elle l'est (endroits test) selon les résultats de l'évaluation préliminaire. Bien qu'il soit recommandé de prendre des échantillons d'air à l'extérieur, à la prise d'air et à la bouche d'évacuation, il se pourrait que cela ne soit pas faisable, car les détecteurs décrits ci-dessus doivent être exposés longtemps dans des conditions sèches, en l'absence de vent. Un bureau à aires ouvertes situé plusieurs étages au-dessus du sol pourrait constituer un endroit témoin adéquat.

Les détecteurs sont stockés dans des sacs scellés qui les protègent d'une exposition accidentelle. Ils sont sortis du sac au début de l'exposition et mis en position, habituellement 1–2 m au-dessus du plancher. À la fin de la période d'exposition, les détecteurs sont remis dans les sacs et envoyés immédiatement pour analyse. Les détails concernant le temps d'exposition sont inscrits sur l'étiquette attachée au détecteur ainsi que sur une fiche technique qui renferme aussi des renseignements identifiant le détecteur et l'endroit où il a été utilisé. Un exemple de fiche technique adéquate est fourni à la figure 3.5.2.

3.5.2.4 Évaluation

Les normes relatives au radon utilisées au Canada sont les suivantes :

Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) : 0.05 NO (niveau opérationnel) dans les maisons;

RADON – FICHE TECHNIQUE À UTILISER AVEC LES DÉTECTEURS PASSIFS

Type de détecteur: _____ Immeuble: _____

Exposition recommandée: _____ Usager: _____

Numéro du détecteur	Étage	Endroit	Début (heure et date)	Fin (heure et date)

Figure 3.5.2 **Radon – Fiche technique à utiliser avec les détecteurs passifs**

Santé et Bien–être social : 0,02 NO dans les maisons;
ASHRAE : 0,027 NO dans les immeubles à bureaux.

Lorsque l'un ou l'autre des détecteurs indique une concentration de radon supérieure à 0,01 NO (ou une teneur intégrée dépassant 0,01 NO–mois), il faut procéder à d'autres essais pour vérifier l'existence d'un problème.

3.5.2.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Au début et à la fin de la période d'exposition, il faut prévoir quinze minutes par détecteur pour l'emballage ou le déballage, et l'enregistrement.

Il faut habituellement d'une à trois semaines avant que les résultats ne reviennent du laboratoire qui effectue l'analyse.

3.5.2.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les documents de travail et le rapport du laboratoire qui a effectué l'analyse doivent tous être conservés et classés.

3.5.3 Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé

3.5.3.1 Description des techniques

En pompant un volume d'air connu à travers un papier filtre, on y recueille des matières particulaires sur lesquelles sont parfois fixés des produits de filiation du radon. On place ensuite le filtre et un scintillateur dans une chambre à échantillons à l'intérieur du moniteur. Les particules alpha émises par les produits de filiation du radon piégés sur le filtre frappent le scintillateur qui émet alors une impulsion lumineuse enregistrée par un détecteur de lumière. Le nombre de coups enregistrés augmente d'une unité chaque fois qu'une particule est décelée.

Comme les particules émises ne frappent pas toutes le scintillateur et que les impulsions lumineuses n'ont pas toutes suffisamment d'énergie pour activer le détecteur de lumière, le comptage des particules est peu efficace. Avant de procéder à des mesures, on détermine chaque fois cette efficacité en mettant dans la chambre une source de particules ayant un taux d'émission connu, à la place de l'échantillon, au même endroit par rapport au scintillateur et au photomultiplicateur.

Le nombre de coups enregistrés varie en fonction du temps à cause des différents taux de désintégration des produits de filiation du radon. Pour obtenir des données fiables, il vaut mieux compter les particules lorsque le compte varie lentement (p. ex., au bout d'une heure). On se sert ensuite des facteurs de Kusnetz[15] pour corriger le compte en fonction du retard entre l'échantillonnage et le comptage. Il est nécessaire de procéder ainsi, car le temps écoulé entre l'échantillonnage et le comptage est de l'ordre de grandeur de certaines des demi–vies. Les facteurs de Kusnetz tiennent compte aussi de la relation entre le taux de comptage et l'activité volumique (pCi/L) ainsi de que la transformation de cette dernière en unités NO. D'autres détails sont donnés à l'appendice 5.1.

3.5.3.2 Équipement

- un moniteur de radon (par exemple, le modèle RM-1003 de la Pylon), muni d'une chambre à échantillon étanche à la lumière et d'un détecteur de lumière;
- une petite pompe à air;
- un débimètre servant à étalonner la pompe, par exemple un débimètre à bulle modèle A de MSA;
- un porte-filtre et des filtres Millipore (d'un diamètre de 25 mm, à pores de 0,8 micromètre) servant à recueillir les échantillons de matières particulaires;
- un scintillateur;
- une source de particules alpha servant à étalonner le système de détection [par exemple, de l'américium métallique radioactif (Am 241)].

3.5.3.3 Démarche détaillée

Les endroits-test sont ceux où des concentrations élevées de radon ont été observées pendant les essais selon des techniques faisant appel à des mesures simples. Pour que la présente méthode soit validée, il faut aussi faire des mesures au moins à un endroit témoin.

La pompe servant à échantillonner l'air est étalonnée au moyen d'un débimètre. Afin de reproduire les conditions de l'essai, le porte-filtre et un papier filtre sont placés sur la pompe pendant l'étalonnage. Pour plus de précision, l'opération est répétée trois fois et le débit moyen est déterminé. Cette méthode permet de mesurer le débit d'air dans l'assemblage pompe/filtre avec une incertitude de $\pm 5\%$ sur une plage de débit allant de 0,1 à 4 L/min. La plupart des trousses d'étalonnage comprennent une jauge à vide permettant d'évaluer la pression exercée sur la pompe (lorsqu'une pompe tourne trop vite sous une trop grande pression, elle fonctionne mal ou s'arrête pendant l'échantillonnage).

Lorsqu'on se sert du moniteur de radon, il faut s'assurer de ne pas ouvrir la chambre étanche à la lumière pendant que l'instrument est en marche, sinon le photomultiplicateur serait endommagé.

Faire trois comptages du rayonnement de fond, d'une durée d'une minute chacun, en plaçant le scintillateur dans la chambre à échantillon (ne pas mettre de filtre). Faire ensuite trois comptages d'une durée d'une minute chacun en plaçant le disque étalon dans la même position que le filtre de papier portant l'échantillon de radon. Calculer l'efficacité du détecteur d'après le taux de comptage connu du disque étalon, suivant les indications données sur la fiche technique concernant l'étalonnage fournie à la figure 3.5.3.

RADON – FICHE TECHNIQUE CONCERNANT L'ÉTALONNAGE

Instrument: _____ Immeuble: _____

Pompe: _____ Date: _____

Étalonnage de la pompe

Volume d'air pompé (L)	___		
Durée (sec) du pompage	___	___	___
Débit moyen (L/min)	___		

Étalonnage du détecteur

Comptage du rayonnement de fond au 241 AM (cpm)	___	___	___
241 AM, calculations par minute (cpm)	___	___	___

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{241 Am calculations (cpm) - fond (cpm)}}{19691} = _____$$

Figure 3.5.3 **Radon – Fiche technique concernant tout étalonnage pour le monitorage détaillé et spécialisé**

Insérer un nouveau papier filtre dans le porte-filtre et prélever un échantillon de matières particulaires. Un échantillonnage durant dix minutes à un taux de pompage de 1,5 L/min est adéquat. Pour le choix des facteurs de Kusnetz, l'intervalle entre l'échantillonnage et le comptage correspond au temps écoulé entre la fin de la période d'échantillonnage et le milieu de la période de comptage. Pour chaque échantillon, faire le comptage du rayonnement de fond pendant une minute et trois comptages séparés du radon pendant cinq minutes à 65, à 70 et à 75 minutes après l'échantillonnage; calculer ensuite les niveaux opérationnels des produits de filiation du radon en se servant de la formule suivante :

$$NO = \frac{\text{taux de comptage (cpm) – taux de comptage de fond (cpm)}}{\text{efficacité x volume d'air échantillonné (L) x facteur de Kusnetz}}$$

Une liste des facteurs de Kusnetz est donnée au tableau 3.5.1 et toutes les mesures requises sont listées sur la fiche technique à la figure 3.5.4.

Temps (minutes)	Facteur de Kusnetz
40	148
42	144
44	140
46	136
48	132
50	128
52	124
54	120
56	116
58	112
60	108
62	104
64	100
66	96
68	92
70	88
72	86
74	83
76	80
78	76
80	73
82	70
84	67
86	64
88	62
90	60

Tableau 3.5.1 Facteurs de Kusnetz permettant de calculer les niveaux opérationnels

RADON – FICHE TECHNIQUE CONCERNANT L'ÉCHANTILLON

Instrument: _____ Immeuble: _____

Débit de la pompe (L/min): _____ Date: _____

Efficacité du comptage: _____ Endroit du test: _____

Mesure des produits de filiation du radon

Heure du début de l'échantillonnage: _____ Heure de la fin de l'échantillonnage: _____

Durée de l'échantillonnage (minutes): _____ Volume d'air échantillonné (L): _____

Comptage du rayonnement de fond (cpm) _____

	65 m	70 m	75 m
Comptage du radon (5 min)			
Comptage du radon (cpm)			
Intervalle entre l'échantillonage et le le comptage (min)			
Facteur de Kusnetz			
Niveau opérationnel*			

$$^{*}\,NO = \frac{\text{taux de comptage (cpm)} - \text{taux de comptage de fond (cpm)}}{\text{efficacité} \times \text{volume d'air échantillonné (L)} \times \text{facteur de Kusnetz}}$$

Figure 3.5.4 Radon – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé

3.5.3.4 Évaluation

Les normes utilisées au Canada pour le radon sont les suivantes :
Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) : 0,05 NO dans les maisons;
Santé et Bien-être social : 0,02 NO dans les maisons;
ASHRAE : 0,027 NO dans les immeubles à bureaux.

Lorsque des concentrations supérieures à 0,02 NO sont trouvées dans un endroit ou près d'un endroit où des personnes travaillent, il faut prendre des mesures pour isoler la source de radon ou améliorer la ventilation.

3.5.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il n'est pas nécessaire de procéder à l'entretien ou à l'étalonnage d'un détecteur de radon modèle RM-1003 avant de l'apporter sur les lieux d'échantillonnage. L'étalonnage de la pompe et du système de détection nécessite environ une demi-heure chaque jour. Un test au complet prend environ 90 minutes mais, comme les mesures ne prennent qu'une partie du temps, il est possible de faire se chevaucher l'échantillonnage et le comptage. Il est donc possible de maintenir facilement un taux de prélèvement de deux ou trois échantillons à l'heure. L'analyse, l'évaluation des résultats et la préparation de rapports nécessitent un ou deux jours ouvrables.

3.5.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les documents de travail et le rapport doivent tous être conservés et classés.

3.6 Composés organiques volatils

Au cours des vingt dernières années, on s'est servi de plus en plus dans les immeubles à bureaux de nouveaux types de matériaux structuraux, d'objets d'ameublement résistant au feu et aux taches, de produits de nettoyage et d'équipements comme les photocopieuses à procédé humide. La plupart de ces objets sont constitués, en tout ou en partie, de produits chimiques de synthèse qui peuvent être libérés dans l'air ambiant des immeubles. Ces produits sont souvent dits "composés organiques volatils" (COV). Le mot "volatil" montre qu'il s'agit de substances passant facilement à l'état de vapeurs (qui ne sont pas adsorbées en grandes quantités à la surface de l'ameublement); le mot "organique" signifie que ces substances contiennent du carbone. Miksch et collaborateurs[16] ont analysé des échantillons d'air par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CG/SM); ces auteurs ont trouvé un nombre beaucoup plus grand et des concentrations beaucoup plus élevées de ces substances organiques dans l'air ambiant des immeubles que dans l'air extérieur. Comme l'identification des COV dans l'air des immeubles coïncide en gros avec l'apparition de problèmes de qualité de l'air, les composés organiques volatils ont souvent été tenus responsables de ces problèmes.

Les plaintes concernant la qualité de l'air sont habituellement associées à des symptômes comme les maux de tête, les étourdissements, l'irritation des muqueuses et la fatigue. Ces symptômes ne sont pas spécifiques, c'est-à-dire ne permettent pas de diagnostic. Ce fait a contribué à la difficulté d'identifier les raisons des plaintes et entraîné la création de l'idiotisme "syndrôme des édifices à bureaux" pour décrire le problème.

De grandes quantités de substances chimiques volatiles sont émises pendant les six premiers mois ou la première année de l'existence d'un immeuble; par la suite, les émissions diminuent et atteignent un niveau assez constant. En l'absence de sources importantes de polluants, la concentration relative de beaucoup des substances chimiques est en gros la même dans toutes les parties de l'immeuble. Chaque immeuble a donc son "empreinte", qui dépend des matériaux, de l'équipement et des procédés qui y sont utilisés. Toutefois, les concentrations réelles peuvent varier beaucoup d'un endroit à l'autre à l'intérieur de l'immeuble, car l'efficacité de la ventilation varie localement.

La majorité des contaminants identifiés dans l'air ambiant des immeubles à bureaux font partie de l'une des trois catégories suivantes :

- hydrocarbures aliphatiques (par exemple, hexane et octane);
- hydrocarbures aromatiques et hydrocarbures aromatiques alkylés (par exemple, benzène, toluène et xylène);
- hydrocarbures aliphatiques et aromatiques chlorés (par exemple, dichlorométhane, trichloroéthylène et dichlorobenzène).

On a aussi observé d'autres composés tels que cétones, aldéhydes, alcools et esters.

Le tableau 3.6.1 est une liste de certains des composés organiques volatils les plus fréquents dans les immeubles à bureaux; y sont aussi indiquées les sources possibles[19, 20].

Substance chimique	Sources
Acétone	Peintures, apprêts et finition, décapant et diluant à peinture
Acétate de n-butyle	Tuiles acoustiques pour plafond, linoléum, produits de calfeutrage
Dichlorobenzène (o,p)	Tapis
Dichlorométhane	Nettoyeur ou protecteur pour tentures et tapis, aérosol, peintures à séchage rapide, décapant à peinture, solvant industriel
n-Hexana	Ciment à tuile de céramique, peintures (apprêt et finition), décapant et diluant à peinture, nettoyeur ou protecteur à tentures et à tapis
n-Octane	Linoléum, tapis, produits de calfeutrage
Toluène	Linoléum, peinture d'apprêt et de finition, décapant et diluant à peinture, nettoyeur ou protecteur à tentures et à tapis, ciment contact
1,1,1-Trichloroéthane	Nettoyeur ou protecteur à tentures et à tapis, liquide correcteur pour machine à écrire
Trichloroéthylène	Linoléum
Xylène (o,m,p)	Peintures d'apprêt et de finition, décapant et diluant à peinture, nettoyeur ou protecteur pour tentures et tapis

Tableau 3.6.1 Liste de certaines substances chimiques et de leurs sources communément détectées à l'intérieur des immeubles

Les composés trouvés dans l'air des immeubles ont une certaine plage de toxicité. Le paragraphe 3.6.3.4 ainsi que l'appendice 5.2 donnent des renseignements sur l'exposition maximum admissible à ces substances. Des normes ont été fixées pour la majorité des composés décelés; toutefois, elles ne comportent pas toujours suffisamment de renseignements pour expliquer les problèmes qui surviennent dans les grands complexes à bureaux. Une des raisons en est qu'au moins une centaine de composés peuvent être présents, chacun à une concentration constituant une petite fraction de la valeur indiquée dans la norme. Malheureusement, on ne sait presque rien des effets de potentialisation que peuvent avoir même un petit nombre de ces substances; de plus, il est probable que les progrès dans ce domaine seront lents. Il est donc nécessaire de mettre au point une autre façon d'évaluer les effets des COV. Molhave a signalé récemment qu'il avait réussi à faire une corrélation entre les symptômes du syndrôme des édifices à bureaux et la concentration totale des composés de type solvant[3]; selon lui, il faut s'attendre à recevoir des plaintes dans les immeubles où les concentrations de COV sont supérieures à 2 mg/m^3. Au Canada, une étude analogue semble indiquer que le seuil d'apparition des plaintes est de 4 mg/m^3 [32]. La méthode canadienne d'échantillonnage permet de mesurer un plus grand nombre de COV que la technique de Molhave.

D'après la connaissance actuelle des matériaux de construction et des modes d'exploitation des immeubles et vu la technologie existante, la meilleure approche pour déterminer les effets des composés organiques volatils combine l'identification des composés contribuant à l'empreinte de l'immeuble et la détermination de la concentration totale des COV.

3.6.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.6.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Il est possible de se les procurer par :

- l'étude des détails des rénovations;
- l'étude du registre des plaintes concernant la qualité de l'air dans l'immeuble;
- l'inspection de certaines aires occupées de l'immeuble;
- des discussions ou des entrevues informelles avec des occupants de l'immeuble;
- l'étude de détails d'exploitation, d'entretien et d'utilisation de l'immeuble.

3.6.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire, car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses données aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour noter les renseignements obtenus.

3.6.1.3 Démarche détaillée

Dans un immeuble à bureaux moyen, il existe beaucoup de substances chimiques différentes qui se dégagent des matériaux de construction, de l'ameublement et des accessoires de bureau. Toutefois, les concentrations de ces substances sont probablement faibles à moins qu'il n'existe des sources importantes de polluants et/ou que la ventilation soit mauvaise. Les principales sources potentielles sont, entre autres :

- les photocopieuses à procédé humide;
- les ateliers d'imprimerie;
- les laboratoires chimiques (y compris les chambres noires ainsi que les laboratoires de conservation des musées et des galleries d'art);
- les aires de stockage de produits chimiques tels les pesticides et les solvants usés;
- les travaux de nettoyage et d'entretien (y compris la peinture et les rénovations).

Pour déterminer les renseignements de base concernant l'immeuble et l'emplacement des sources potentielles, consulter les horaires d'entretien et le registre de l'immeuble et avoir des entrevues avec le gérant. Les aires mises en évidence doivent être inspectées et les personnes qui y travaillent, questionnées. La liste qui suit indique les renseignements qu'il faut se procurer relativement à chaque source potentielle.

Liste de vérification concernant **l'immeuble** :

- quel est l'âge de l'immeuble?
- quel type de matériaux ont servi à la construction de l'immeuble? (par exemple tapis, scellants, peintures, tuiles à plafond)
- est-ce qu'une partie de l'immeuble a été rénovée ou redécorée récemment? Le cas échéant, à quel moment?
- se sert-on de grandes quantités de substances chimiques pour l'un ou l'autre des travaux de nettoyage ou d'entretien?
- est-ce que le système de ventilation est fermé pendant la nuit et le week-end? Le cas échéant, à quelle heure est-il remis en fonction le matin?

Liste de vérification concernant **les photocopieuses** :

- combien de copies sont faites par semaine par appareil?
- existe-t-il un système de ventilation supplémentaire ou un système de ventilation distinct pour les endroits où ces appareils sont utilisés?
- est-ce que les photocopieuses fonctionnent selon le procédé humide ou selon le procédé sec?
- lorsque le procédé humide est utilisé, combien de temps dure chaque bouteille de vireur/révélateur? et quel est le volume de chaque bouteille?

Liste de vérification concernant **les ateliers d'imprimerie** :

- quelles sont les substances chimiques utilisées pendant l'impression et le nettoyage des rouleaux de la presse?
- quelle est la fréquence de nettoyage des rouleaux?
- de quelle façon se débarrasse-t-on des papiers ou chiffons utilisés pour le nettoyage?
- Est-ce que ces pièces sont pourvues d'un système de ventilation supplémentaire ou d'un système de ventilation distinct?

Liste de vérification concernant **les laboratoires chimiques** :

- quelles sont les substances chimiques utilisées?
- quelle est la fréquence d'utilisation de chaque substance?
- ces pièces sont-elles pourvues d'un système de ventilation supplémentaire ou d'un système de ventilation distinct?
- existe-t-il des hottes pour l'exécution des marches à suivre demandant une forte utilisation de substances chimiques volatiles?
- l'évacuation des hottes se fait-elle directement à l'extérieur?

Liste de vérification concernant **les aires de stockage des substances chimiques** :

- quelles sont les substances chimiques stockées?
- quelle est la volatilité de ces substances?
- est-ce que des précautions sont prises pour empêcher l'évaporation des composés volatils?

Liste de vérification concernant **les travaux de nettoyage et d'entretien** :

- quels sont les produits utilisés?
- quel est le calendrier d'utilisation de ces produits?

Liste de vérification concernant **les plaintes et les entrevues avec les occupants** :

- y a–t–il beaucoup d'absentéisme?
- quels sont les symptômes dont souffrent les personnes?
- est–ce que les problèmes mentionnés semblent coïncider avec des travaux de nettoyage, d'entretien ou de rénovation?
- si les symptômes apparaissent de façon régulière, à quelle heure de la journée sont–ils le plus prononcés?
- quel est le jour de la semaine où les symptômes sont le plus prononcés?
- les symptômes sont–ils saisonniers?
- se plaint–on fréquemment de la présence d'odeurs?
- à quoi ces odeurs ressemblent–elles? et quelle est leur intensité?

3.6.1.4 Évaluation

Il est probable que les substances organiques présentes dans l'air posent un problème lorsque :

- de grandes quantités de substances sont présentes (par exemple, pendant l'application de peinture, un nettoyage à fond, une utilisation intensive des photocopieuse, le développement de films ou d'épreuves photographiques, l'utilisation d'un procédé chimique, le nettoyage des rouleaux d'une presse avec un solvant, etc.);
- des substances chimiques assez volatiles pour s'évaporer ont l'occasion de le faire (ce qui se produit pendant l'application de peinture, l'utilisation de certains produits de nettoyage ou de photocopieuses à procédé humide – les appareils fonctionnant à sec dégagent beaucoup moins de substances chimiques, les travaux en chambre noire, certains procédés chimiques, le nettoyage des rouleaux d'une presse – surtout lorsque les chiffons servant au nettoyage sont jetés à la poubelle – et le stockage de produits chimiques dans des récipients ouverts);
- la ventilation n'est pas suffisante pour la quantité de substances chimiques libérées. Une ventilation normale devrait suffir dans les aires de stockage à la condition que les récipients utilisés soient bien bouchés. Toutefois, en chambre noire, dans les ateliers d'imprimerie et les laboratoires chimiques, il faut habituellement une ventilation spéciale ainsi que dans les locaux où l'on utilise beaucoup des photocopieuses fonctionnant selon un procédé humide. Les travaux de nettoyage et de décoration peuvent entraîner l'émission de grandes quantités de produits chimiques, mais uniquement pendant un cours laps de temps; on ne considère donc pas en général qu'une ventilation spéciale soit nécessaire.

Les symptômes que les personnes ressentent lorsqu'elles sont exposées à des composés organiques volatils sont, entre autres : toux, maux de gorge, faiblesse, nausée, fatigue, maux de tête, écoulement oculaire, brouillement de la vue, nervosité stomacale, irritation cutanée et allergies. Il s'agit de symptômes non spécifiques qui ne suffisent habituellement pas à eux seuls à identifier les composés en cause. Cela est spécialement vrai lorsque l'atmosphère contient un mélange de produits chimiques. Voilà pourquoi il est moins utile de connaître la nature des symptômes que le moment et l'endroit où ils sont le plus graves. Par exemple, lorsque la ventilation est interrompue pendant la nuit et le week-end, les occupants travaillant près d'une faible source de COV pourraient se sentir indisposés à leur retour, le matin et surtout le lundi; les symptômes étant plus prononcés à ces périodes.

Il est possible d'identifier beaucoup de substances chimiques à leur odeur lorsqu'elles sont présentes en concentrations suffisantes. Le Tableau 3.6.2 donne une liste de certaines de ces substances qu'il est possible de rencontrer dans un immeuble à bureaux ainsi que leur seuil de détection olfactive, la norme ASHRAE qui les concerne (à comparer au seuil de détection) et la description que peuvent en faire des personnes non familières avec des substances chimiques.

Nom	Seuil (ppm)	Norme (ppm)	Odeur
Acétone	100	75	Piquante
Dichlorométhane	214	10	Sucrée, semblable à celle du chloroforme
n-Heptane	120	40	Odeur d'essence à briquet, odeur d'essence
Méthylisobutyl-cétone	0.5	5	Sucrée
Phénol	0.05	0.5	Médicinale, de savon carbolique
Pyridine	0.02	0.5	De poisson, de brûlé
Tétrachloroéthylène	4.7	5	De liquide pour nettoyage à sec
Toluène	12	10	De solvant, piquante
p-Xylène	0.7	10	Sucrée

Tableau 3.6.2 Odeur et seuil de détection olfactive pour certaines substances chimiques communément détectées à l'intérieur des immeubles

3.6.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut allouer un ou deux jours ouvrables pour l'évaluation préliminaire d'un immeuble d'une superficie de 10 000 m². Le temps exact dépend de la complexité de l'immeuble, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes déposées.

3.6.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les photographies et l'enregistrement des observations et des réponses obtenues aux questions posées doivent tous être conservés et classés.

3.6.2 Étape II – Techniques simples de mesure

Cette section est sans objet

3.6.3 Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé

3.6.3.1 Description des techniques

L'air des immeubles contient fréquemment un grand nombre de substances chimiques toutes présentes en quantités relativement faibles. Il est possible de les séparer et d'en identifier beaucoup au moyen d'une technique complexe, la chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CG/SM). La CG/SM est une technique très sensible qui permet de déceler des teneurs en substances chimiques dans l'air égales, voire inférieures, à une partie par milliard (ppb).

Les échantillons sont prélevés par pompage de l'air contenant des contaminants à travers un tube renfermant un adsorbant solide qui retient beaucoup de COV. Ceux-ci sont ensuite repris de l'adsorbant, soit par extraction avec un solvant, soit par évaporation à haute température sous un courant de gaz vecteur. Dans la première méthode, une petite portion de la solution liquide est injectée dans le chromatographe en phase gazeuse (CG); dans la seconde méthode, l'échantillon au complet est concentré et introduit automatiquement dans le CG. La chromatographie se fait sur colonne capillaire (ce genre de colonne assure la meilleure résolution, c.-à-d. une meilleure séparation des composés) et le gaz vecteur utilisé est l'hélium. À la sortie de la colonne, les fractions de composés séparés sont introduites l'une après l'autre dans le spectromètre de masse (SM), où les produits sont scindés par un faisceau électronique, et leur spectre de masse est enregistré. Chaque composé a un mode de fragmentation spécifique de sorte que le spectre de masse sert d'empreinte au composé. Lorsqu'une fraction ne contient qu'un seul composé, il est possible d'identifier celui-ci par son temps de rétention (le temps nécessaire pour traverser la colonne) et son spectre de masse.

Les deux méthodes utilisées pour faire passer les échantillons de COV de l'adsorbant au CG ont toutes deux des avantages et des désavantages qui sont décrits brièvement ci-dessous :

La désorption thermique a les avantages suivants par rapport à l'extraction par solvant :

- pour l'extraction par solvant, il est nécessaire de se servir de 1 mL de solvant, et d'injecter ensuite 1 µL de la solution obtenue; par contre, pour la désorption thermique, il est possible de prélever des volumes d'échantillon plus petits. Le temps d'échantillonnage est donc de 5–30 minutes en comparaison de 5–8 heures pour l'extraction au solvant;
- le traitement de l'échantillon est passablement automatisé (c.-à-d., tous les échantillons sont traités exactement de la même façon), alors que l'extraction par solvant peut faire intervenir des erreurs humaines, tant sur le volume de solvant ajouté que sur le volume de solution injecté;
- toutes les substances chimiques peuvent être identifiées. Dans le cas de l'extraction au solvant, la présence d'un pic de solvant énorme cache d'autres pics du chromatogramme correspondant aux composés renfermant sept atomes de carbone ou moins (toluène);

- toutes les substances chimiques prélevées sont reprises de l'adsorbant; dans le cas de l'extraction par solvant, les substances chimiques qui ne sont pas solubles dans le disulfure de carbone peuvent être perdues ou ne pas être décelées.

L'extraction au solvant a les avantages suivants par rapport à la désorption thermique :

- lorsqu'il survient un problème pendant l'injection, il est facile de répéter l'opération, plusieurs fois si nécessaire. Dans le cas de la désorption thermique, l'échantillon est injecté au complet dans le CG. S'il survient des problèmes, il est donc nécessaire de se procurer un autre échantillon;
- il est facile d'ajouter un étalon interne dans la solution (dopage), ce qui facilite le dosage de chacun des composés;
- l'extraction au solvant permet de déterminer des composés instables qui sont détruits aux températures où se fait la désorption thermique (200–280 °C);
- l'extraction au solvant avec du disulfure de carbone (CS_2) est la méthode acceptée actuellement par l'agence de la protection de l'environnement américaine (EPA) même s'il y a plusieurs années que la désorption thermique est utilisée.

La quantité totale de COV dans l'échantillon peut être déterminée soit par étalonnage de la réponse du CG/SM pour chaque composé pris individuellement avec sommation des quantités trouvées, soit par détournement d'une partie de l'échantillon vers un détecteur à ionisation de flamme (DIF) qui est censé mesurer toutes les substances chimiques contenant du carbone. La méthode du DIF est assez simple, mais son exactitude n'est pas très grande. Le dosage par CG/SM porte sur environ 20 composés, qui sont censés prédominer dans l'atmosphère des bureaux, et ne tient pas compte des autres composés. L'erreur qui en résulte est probablement moins grande que les erreurs inhérentes à la méthode du DIF, mais la méthode de la CG/SM demande davantage de temps.

3.6.3.2 Équipement

- appareil de CG/SM avec commande informatisée et logiciel d'identification des COV (par exemple, le Finnigan 4510B);
- désorbeur thermique et unité de nettoyage des tubes adsorbants (facultatifs). Il est à noter que les tubes utilisés dans ces unités ont des dimensions différentes selon la compagnie qui les vend;
- tubes renfermant un adsorbant solide. Plusieurs adsorbants sont d'usage courant. Parmi les plus populaires, citons le charbon activé et le polyoxyde 2,6–diphényl–p–phénylène (aussi connu sous le nom de tenax). Il est possible d'acheter des tubes déjà garnis d'un adsorbant ou de deux ou trois adsorbants ensemble;
- pompes pour échantillonnage (par exemple, le modèle HFS 113 de Gilian ou le modèle Alpha de Dupont). Ces deux pompes fonctionnent au courant continu et sont munies d'un chargeur de batteries. Les tubes garnis d'adsorbant d'une longueur de plus de 5 cm nécessitent l'utilisation de pompes plus résistantes fonctionnant au courant alternatif;
- un débitmètre pour pompe (par exemple le modèle IHCP–HL–300 de Gilian, le débitmètre à bulle modèle A de MSA ou le "Buck Calibrator");

- colonne capillaire pour CG. Le DB-5 ou le SE-54 sont des garnitures permettant la séparation des hydrocarbures;
- un réservoir d'hélium (pur à 99,9%) utilisé comme gaz vecteur pour la CG;
- des échantillons purs du composé d'intérêt servant à préparer des mélanges étalons;
- un échantillon pur servant d'étalon interne par dopage (par exemple, le perfluorotoluène);
- verrerie pour analyse chimique, solvant pur et seringues à liquide (facultatifs) pour la méthode d'extraction au solvant;
- générateur de gaz, tubes perméables, cylindre d'air pur et seringues à gaz pour étalonnage (facultatifs), pour la méthode de désorption thermique;
- cylindre contenant une quantité connue de benzène ou de cyclohexane dans de l'hélium pour étalonnage du détecteur à ionisation de flamme (facultatif).

3.6.3.3 Démarche détaillée

Normalement, deux types d'endroits sont testés, soit des endroits témoins (où les teneurs en COV sont censées être faibles) et des endroits-tests (où il semble probable que les COV puissent poser des problèmes). Cette façon de faire tient compte du fait que les teneurs normales varient d'un immeuble à l'autre et permet de comparer de façon plus fiable les résultats obtenus dans les différents immeubles. Les endroits-tests sont habituellement choisis en fonction des résultats obtenus au moment de l'évaluation préliminaire.

Les endroits témoins doivent inclure :

- la prise d'air;
- si possible, un autre endroit situé à l'extérieur;
- des aires à l'intérieur de l'immeuble qui sont censées être exemptes de COV et qui sont du même type et ont la même disposition que les endroits-tests.

Les endroits-tests doivent comprendre :

- la bouche d'évacuation de l'air;
- des aires identifiées comme des sources possibles de COV pendant l'évaluation préliminaire;
- d'autres endroits qui ont fait l'objet de plaintes d'une mauvaise qualité de l'air.

En outre, il est possible d'échantillonner les vapeurs flottant au-dessus des stocks de substances chimiques et qui sont censées contribuer à la charge en COV de l'immeuble. Cet échantillonnage est particulièrement utile dans le cas de produits commerciaux contenant un mélange non spécifique de substances chimiques.

Il existe un choix de divers tubes à échantillons. Lorsque la méthode d'extraction au solvant est choisie, on se sert normalement de petits tubes de charbon activé. Le charbon est contenu dans deux sections séparées par un bouchon inerte; ces sections sont analysées séparément afin de vérifier la possibilité de sursaturation (c.-à-d., contrôler si certains des COV captés peuvent avoir traversé tout l'adsorbant et être ressortis à l'autre bout), ce qui pourrait entraîner une sous-estimation des concentrations de COV présentes dans l'échantillon. Voilà pourquoi il est important de pomper l'air à travers le tube dans la direction spécifiée par le fabricant.

Lorsque la désorption thermique est la méthode choisie, il est possible de se servir de divers adsorbants. Celui dont l'usage est le plus répandu est le tenax, car une vaste gamme de substances organiques s'y adsorbent et en sont désorbées efficacement. Il donne cependant un meilleur rendement avec les composés de masse moléculaire intermédiaire; il peut donc être préférable de se servir de deux ou trois adsorbants ensemble (par exemple, ambersorbe, tenax et anneaux de verre) pour capter les composés à masse moléculaire basse, moyenne et élevée. Jusqu'à très récemment, il n'existait aucun type de charbon activé utilisable pour la désorption thermique. Là aussi il est important de savoir dans quelle direction l'air a été pompé à travers les tubes, principalement parce que le courant de gaz doit se faire en sens inverse pendant la désorption par rapport à l'adsorption. Lorsque plusieurs adsorbants sont utilisés dans un même tube, le pompage de l'air doit toujours se faire dans la direction où les composés lourds sont piégés dans le premier adsorbant et les COV les plus légers dans le dernier.

Il faut étalonner les pompes chaque jour avant de s'en servir, en y fixant un tube du type utilisé pendant l'étalonnage. Cela est particulièrement important pour l'échantillonnage des COV, car l'adsorbant exerce une pression élevée sur la pompe en ralentissant le débit d'air. Lorsque la couche d'adsorbant dans le tube dépasse 5 cm environ, il n'est plus possible de se servir de pompes à batterie pour aspirer l'air; il faut donc utiliser des pompes fonctionnant au courant alternatif.

Des détails tels que la date, l'heure, le mode d'échantillonnage et l'endroit, doivent être enregistrés pour chaque échantillon sur une fiche technique semblable à celle fournie à la figure 3.6.1.

Pour l'extraction au solvant, il est habituellement nécessaire de se servir de 1 mL de solvant et de le laisser en contact avec le charbon pendant au moins une heure. Il est possible d'en évaporer une partie avant l'injection afin de concentrer la solution, car un volume de seulement 1 µL est injecté dans le CG.

Les tubes utilisés pour la désorption thermique sont réutilisables à la condition d'avoir été, après chaque échantillonnage, nettoyés et conditionnés à haute température sous un courant de gaz vecteur. Les tubes sont reconditionnés le moins longtemps possible avant d'être utilisés, car ils peuvent être contaminés pendant le stockage.

Pour la désorption thermique, il est important de concentrer l'échantillon de sorte qu'il soit injecté complètement d'un seul coup en tête de colonne. Cela se fait habituellement soit par cryofocallisation (condensation de l'échantillon à l'azote liquide et évaporation à température élevée), soit par plusieurs cycles de désorption/adsorption de plus en plus rapides.

Une fois l'injection faite, la séparation des substances chimiques, leur passage à travers le spectromètre de masse et l'enregistrement des données nécessaires à l'identification des COV se font automatiquement, l'appareil étant commandé par ordinateur. L'ordinateur compare automatiquement tous les spectres de masse enregistrés aux spectres qu'il possède en mémoire. Parfois, cette opération suffit pour identifier les composés. Par contre, comme beaucoup des fractions contiennent plus d'un composé

FICHE TECHNIQUE – COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

Immeuble: _____ Technicien: _____

Étage: _____ Date: _____

Endroit: _____ Type de tube: _____

Détails concernant l'échantillonnage

Numéro de la pompe: _____

Débit: _____

Début (heure): _____

Fin (heure): _____

Durée totale de l'échantillonnage: _____

Volume d'air prélevé: _____

Numéro du tube: _____

Détails concernant l'étalonnage

Méthode: _____

Numéro du mélange étalon: _____

Détails concernant l'analyse

Marque et modèle du CG/SM: _____

Identification de l'échantillon: _____

Figure 3.6.1 Composés organiques volatils – Fiche technique pour le monitorage détaillé et spécialisé

et que le procédé automatique n'est pas infaillible, il est plus souvent nécessaire de prendre le temps de parfaire l'identification manuellement.

Pour l'étalonnage des divers composés, des échantillons contenant des quantités connues de ces composés sont traités de la même façon que les échantillons recueillis, il est aussi possible de se servir d'un étalon secondaire pour doper soit la solution, soit le tube soumis à la désorption thermique. Cet étalon doit être un composé qui n'existe pas dans l'air échantillonné; de plus, avant de s'en servir, il faut déterminer la réponse donnée par l'instrument par rapport à tous les composés dosés.

Lorsqu'on se sert d'un DIF, il faut injecter une portion de gaz étalon approprié avant ou après le passage de l'échantillon.

3.6.3.4 Évaluation

Après avoir procédé au dosage d'un composé donné (soit par extraction au solvant, soit par désorption thermique), comparer les concentrations trouvées aux normes ACGIH, OSHA et ASHRAE listées au tableau 3.6.3. Des mesures doivent être prises lorsque des concentrations supérieures à la norme ASHRAE sont trouvées. Les différences de concentration entre les divers endroits peuvent aider à identifier les sources émettant les substances. Lorsque des sources importantes sont découvertes, on peut procéder à des essais de migration des polluants (voir le chapitre 4) afin de déterminer si les substances chimiques sont entraînées dans l'air vers d'autres parties de l'immeuble et, le cas échéant, à quelle vitesse elles le sont.

Il n'existe encore aucune norme concernant la concentration de l'ensemble des COV. Lorsque le dosage se fait par DIF, le laboratoire qui effectue les analyses doit se servir de sa propre base de données (valeurs mesurées) pour déterminer de façon empirique les teneurs en COV qui représentent un immeuble non pollué.

3.6.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il est nécessaire d'étalonner chaque jour la pompe servant à l'échantillonnage. L'opération demande jusqu'à 15 minutes par pompe selon la méthode utilisée. L'échantillonnage prend environ une demi-heure ou 5 heures, selon que la méthode utilisée est l'extraction au solvant ou la désorption thermique. L'analyse par CG/SM prend à peu près deux heures pour chaque échantillon. Le temps nécessaire à l'étalonnage dépend du mode de dosage utilisé, soit DIF, soit extraction au solvant ou adsorption/désorption. Dans le cas des deux dernières méthodes le temps dépend du nombre de composés dont la concentration doit être mesurée de façon fiable. Il faut à peu près le même temps pour analyser les mélanges étalons ou les échantillons prélevés. Une fois terminé l'enregistrement des données, il faut encore du temps pour vérifier et améliorer l'identification des composés et pour préparer le rapport.

3.6.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les détails concernant l'échantillonnage sont enregistrés sur des fiches techniques comme celles fournies à la figure 3.6.1. Pour chaque échantillon identifié, l'ordinateur fournit des sorties sur support en papier. Les fiches techniques, les fiches d'identification et tous les autres documents de travail sont classés et conservés avec le rapport.

3.7 MATIÈRES BIOLOGIQUES

Les levures, les moisissures et certaines bactéries font partie de la grande classe des organismes biologiques communément appelés champignons. La plupart des champignons sont capables de sporulation (production de spores). La sporulation se fait par condensation du matériel cellulaire, puis croissance d'une membrane extérieure

Composé	MPT ACGIH (ppm)	SAE OSHA (ppm)	ASHRAE (ppm)
Acétate de n-butyle	150		15
Acétone	750		75
Benzène	10	10	0
Tétrachlorure de carbone	5	10	1
Chlorobenzène	75	75	7.5
Chloroforme - voir Trichlorométhane			
Cyclohexane	300	300	30
Cyclohexanol	50	50	5
Cyclohexanone	25	50	2.5
Cyclohexène	300	300	30
Décane		100	
1,2-Dichlorobenzène	50	50	5
1,4-Dichlorobenzène	75	75	7.5
1,1-Dichloréthane	200	100	20
1,2-Dichloréthylène	200	200	20
Dichlorométhane	100	500	10
Dioxane	25	100	2.5
Éthylbenzène	100	100	10
n-Hexane	50		5
n-Heptane	400	500	40
2-Méthoxyéthanol	5	25	0.5
Méthylcellosolve - voir 2-Méthoxyéthanol			
Méthylchloroforme - voir 1,1,1-Trichloroéthane			
Méthylcyclohexane	400	500	40
Méthylisobutylcétone	50	100	5
Naphtalène	10	10	1
Octane	300	500	30
Pentane	600	1000	60
Phénol	5	5	0.5
Pyridine	5		0.5
Tétrachloroéthylène	50	100	5
Toluène	100	200	10
1,1,1-Trichloroéthane	350	350	35
Trichloroéthylène	50	100	5
Trichlorométhane	10	50	1
Xylène (o-, m-, p-)	100	100	10

Tableau 3.6.3 Normes relatives d'exposition à certains composés organiques volatils communément détectés dans l'air ambiant des immeubles

qui protège le reste du matériel. Les spores sont exceptionnellement résistantes aux agressions physiques et chimiques; elles peuvent demeurer sous une forme inactive pendant de longues périodes. Toutefois, lorsque des conditions propices surviennent, elles peuvent redonner l'espèce mère et commencer à se reproduire rapidement. Il n'existe que quelques bactéries sporulées causant des maladies chez l'homme. Il s'agit, entre autres, des bactéries virulentes responsables de l'anthrax, du tétanos et du botulisme, mais l'incidence de ces maladies est faible.

Comme les bactéries et les virus sont responsables de maladies infectieuses et contagieuses courantes, les gens les craignent beaucoup plus que les levures et les moisissures. Toutefois, les levures et les moisissures (champignons) sont plus à craindre dans les immeubles, en partie à cause des conditions nécessaires au cycle de vie des virus et des bactéries : à l'extérieur de leur hôte, les virus ne vivent pas longtemps et ils

sont incapables de se reproduire. Les systèmes mécaniques de l'immeuble ne peuvent donc normalement pas répandre efficacement une infection virale. Pour qu'une population bactérienne puisse devenir assez important pour constituer une menace pour la santé, elle doit se trouver en présence d'eau stagnante. (La reproduction des bactéries est efficace aussi dans l'eau non stagnante, mais la circulation de l'eau dilue la population de la même façon que la circulation de l'air dilue un polluant chimique). En outre, il faut qu'il existe un mécanisme permettant aux bactéries de passer de l'eau dans l'air distribué dans l'immeuble. (Habituellement, cela ne peut se produire à moins que l'eau stagnante ne soit associée au système de ventilation.) Les champignons sont beaucoup moins exigents : beaucoup d'entre eux n'ont besoin que de moiteur plutôt que d'humidité pour se reproduire; ils peuvent donc croître dans les vides des murs et dans les conduites de ventilation.

Les champignons et leurs spores existent naturellement dans le sol, l'eau et l'air. Ils s'introduisent continuellement à l'intérieur des immeubles en s'infiltrant dans les parois ou dans le système de ventilation. Plus de 95 espèces de spores de champignons ont été signalées dans l'air des immeubles[6]. Ces spores peuvent être à l'origine d'importantes colonies viables. La croissance des champignons augmentent de façon dramatique lorsque l'humidité relative augmente, surtout lorsqu'elle atteint 70%[35].

Certains systèmes tels que les tours de refroidissement, les condenseurs à ruissellement, les humidificateurs, les réservoirs d'eau chaude, etc., assurent des conditions permettant la croissance des populations naturelles de champignons et de bactéries. Le système de circulation et de conditionnement de l'air peut ensuite disséminer les organismes dans tout l'immeuble. Une réduction substantielle du taux de ventilation, le recyclage de l'air ainsi qu'un degré d'humidité ou une température élevés sont des facteurs qui contribuent tous à l'augmentation de la concentration des microorganismes.

Les champignons peuvent entraîner des allergies respiratoires ou cutanées. Dans de rares cas, ils peuvent causer des infections pulmonaires semblables à celles dues aux virus. Les spores de moisissure peuvent entraîner des allergies même sous leur forme inactive. Certains champignons produisent des microtoxines qui peuvent avoir divers effets sur les personnes dont, à faible dose, la suppression du système immunitaire favorisant des maladies qui ne peuvent être reliées directement à leur cause originale[18].

Il existe un grand nombre de cas où des maladies et des épidémies ont été reliées aux systèmes de ventilation et d'humidification. Par exemple, dans une école, le système de ventilation a été jugé responsable d'une épidémie d'oreillons[28]. Le Centre for Disease Control (CDC) a fait des recherches sur des épidémies de pneumonie associées à l'exposition à des organimes en circulation dans l'air des immeubles[8]. L'exemple classique est l'épidémie de legionellose survenue lors de la réunion des légionnaires américains en 1976 à Philadelphie[4].

La "fièvre des humidifacteurs", dont les symptômes sont semblables à ceux de la grippe, peut être due à une allergie aux microorganismes présents dans les humidificateurs[7]. Les symptômes sont généralement pires le lundi lorsque l'humidification a été interrompue pendant tout le week-end, ils diminuent à mesure qu'avance la semaine de travail.

En plus de causer des allergies et des maladies, les champignons contribuent à la détérioration des matériaux de construction et peuvent produire des odeurs nauséabondes.

3.7.1 Étape I – Évaluation préliminaire

3.7.1.1 Description des techniques

Les techniques utilisées sont simplement différentes façons de recueillir des renseignements concernant l'immeuble. Il est possible de se procurer des renseignements utiles sur la probabilité de contamination biologique d'un immeuble par :

- l'étude du registre des plaintes déposées concernant la qualité de l'air dans l'immeuble;
- l'inspection de certaines ou de toutes les aires occupées de l'immeuble;
- l'inspection des systèmes mécaniques;
- des discussions ou des entrevues informelles avec des occupants de l'immeuble;
- l'étude en détail de l'usage et du mode d'exploitation de l'immeuble.

3.7.1.2 Équipement

Très peu d'équipement est nécessaire, car l'accent est mis sur les observations faites et sur les réponses données aux questions posées. Il est utile de se munir d'articles tels que crayons et papiers, enregistreuse et appareil photo pour noter les renseignements obtenus.

3.7.1.3 Démarche détaillée

Comme nous l'avons déjà mentionné, la contamination biologique n'est probable que lorsque des conditions propices d'humidité ou de moiteur surviennent dans le système de conditionnement ou de circulation d'air. Il est donc essentiel d'inspecter la salle des machines à fond et de vérifier toutes les douches de l'immeuble.

Liste de vérification concernant les **humidificateurs** :

- Quel est le type de système d'humidification utilisé?
- S'il s'agit d'un vaporisateur, se sert-on de biocides?
- S'il s'agit d'un vaporisateur, à quel intervalle les bacs sont-ils nettoyés?
- Y a-t-il des signes de la croissance d'algues quelque part dans l'humidificateur?
- Peut-on sentir une odeur de moisi?
- Existe-t-il des signes de présence de moisissures dans les conduites, à l'intérieur de l'immeuble?

Liste de vérification concernant les **systèmes de conditionnement de l'air** :

- Y a-t-il des microorganismes sur les serpentins refroidissants ou dans les bacs à eau?

- Est-ce que les bacs sont nettoyés régulièrement?
- Existe-t-il des moisissures dans les conduites?
- Peut-on sentir une odeur de moisi?
- Est-ce que le brouillard produit par la tour de refroidissement tombe sur la prise d'air ou vers une aire occupée de l'immeuble?

Liste de vérification concernant **les douches** :

- Est-ce que le fonctionnement du système de ventilation est conforme aux normes de fabrication?
- À quelle température l'eau chaude est-elle maintenue?
- Existe-t-il des signes de croissances de moisissures sur les pommes, les rideaux ou les parois des douches?
- Peut-on sentir une odeur de moisi?
- Quelle est la fréquence d'utilisation des douches?

Liste de vérification concernant les **plaintes déposés et l'entrevue des occupants** :

- A-t-on rapporté une maladie épidémique dans l'immeuble?
- Est-ce que les occupants souffrent d'allergies respiratoires pendant qu'ils sont dans l'immeuble?
- Est-ce que les occupants souffrent d'allergies cutanées?
- À quel moment de la journée les symptômes sont-ils le pire?
- Quel est le jour de la semaine où les symptômes sont le pire?
- Est-ce que les symptômes sont saisonniers?
- Est-ce que les symptômes se limitent à une seule partie de l'immeuble ou est-ce qu'ils apparaissent dans tout l'immeuble?
- Existe-il des taches de moiteur sur les murs ou les plafonds?
- Y a-t-il des signes de moisissures sur les diffuseurs du système d'alimentation en air ou sur les volets de la bouche d'évacuation?
- Peut-on sentir une odeur de moisi?

3.7.1.4 Évaluation

Suivent quelques directives générales permettant d'évaluer la probabilité de contamination biologique d'un immeuble :

- la présence de microorganismes ou de moisissures dans un système d'humidification ou de conditionnement de l'air, ou encore de moisissures dans une des conduites qui mènent à ses unités ou qui en ressortent indique un problème possible;
- un autre mauvais signe est la présence de moisissures dans les conduites ou à la surface des diffuseurs ou des volets de la bouche d'évacuation dans une aire occupée;
- il peut être utile de connaître la distribution spatiale des cas de maladie ou des plaignants : lorsque les problèmes sont localisés dans une section de l'immeuble, il est fort probable qu'il s'agit de l'endroit contaminé; lorsque les problèmes sont répandus dans l'immeuble, la contamination vient probablement d'une partie quelconque du système mécanique;

- les problèmes sont probablement saisonniers, faisant intervenir les humidificateurs en hiver et les systèmes centraux de conditionnement de l'air en été. La probabilité d'apparition de problèmes est plus grande en été qu'en hiver étant donné le plus grand nombre de microorganismes présents dans l'air extérieur;
- la contamination augmente lorsque la ventilation est interrompue pour la nuit ou pour le week-end. Les symptômes sont donc probablement plus prononcés le matin, spécialement le lundi;
- la présence d'une odeur de moisi indique la présence probable de moisissures dont la localisation peut cependant ne pas être immédiatement évidente;
- les taches de moiteur qui apparaissent sur les murs peuvent s'accompagner de croissances fongiques dans le vide des parois;
- il est possible que des problèmes surviennent dans des douches très fréquentées lorsque la ventilation est inadéquate;
- la température dans le réservoir à eau chaude doit être maintenue à 55 °C pour éliminer les bactéries de l'espèce Legionella.

3.7.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut allouer une demi-journée ouvrable pour l'évaluation préliminaire d'un immeuble d'une superficie de 10 000 m². Le temps exact nécessaire dépend de la complexité de l'immeuble, du nombre d'occupants et du nombre de plaintes déposées.

3.7.1.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Les fiches techniques, les photographies et les registres des observations faites et des réponses données aux questions posées doivent tous être conservés et classés.

3.7.2 **Étape II - Techniques simples de mesure**

Cette section est sans objet

3.7.3 **Étape III - Monitorage détaillé et spécialisé**

3.7.3.1 Description des techniques

Il est évidemment souhaitable de mesurer directement le nombre de champignons présents dans l'air. Toutefois, il est beaucoup plus difficile d'y parvenir que dans le cas des substances chimiques aériennes. Jusqu'à présent, la seule méthode disponible a été de recueillir les spores sur un filtre et de les laisser se multiplier dans un milieu nutritif approprié tel que l'agar. On considère que le nombre de colonies formées correspond au nombre de spores recueillies. C'est là souvent une mauvaise évaluation, étant donné le nombre de types différents de spores présents dans l'air et leur différence de reproductivité. On s'est efforcé récemment [3] de valider une méthode indiquant la contamination biologique d'une maison. Cette méthode ne s'appuie pas uniquement sur la détermination du nombre d'unités formant des colonies (UFC), elle fait plutôt intervenir le contrôle des substances chimiques libérées par les matières fongiques ainsi qu'une estimation de leur toxicité. Il est à souhaiter que dans un futur rapproché ces études mèneront à la découverte d'une méthode fiable permettant de déceler la contamination biologique de l'air.

Pour mesurer la contamination de l'eau associée aux systèmes mécaniques il est possible d'en prélever un échantillon et de laisser les bactéries et les champignons qui s'y trouvent se multiplier sur un milieu nutritif de la façon décrite ci-dessus. Il est difficile de faire une corrélation entre le nombre d'individus d'une espèce présents dans l'eau et dans l'air, car ce rapport varie fortement selon le mode de transmission entre l'eau et l'air. Toutefois, la comparaison du nombre d'individus trouvés dans de l'eau pure et dans de l'eau prélevée dans les systèmes mécaniques donne une certaine indication du potentiel de contamination de cette eau. La Division du rendement des immeubles s'est servi de cette méthode par le passé. Comme elle ne possède pas d'experts en biologie, il lui est possible de prélever les échantillons, mais les analyses doivent être effectuées par un laboratoire spécialisé. Le présent paragraphe décrit la méthode utilisée pour prélever les échantillons d'eau.

Des échantillons d'eau sont prélevés des robinets ou des réservoirs; chacun d'entre eux est versé dans un flacon stérile distinct. Des échantillons de matières solides sont prélevés par écouvillonnage et mis dans des flacons stériles individuels avec de l'eau prélevée au même endroit. La marche à suivre assure que la personne qui prélève les échantillons ne les contamine pas au moment de l'échantillonnage.

3.7.3.2 Équipement

Les écouvillons ainsi que les flacons stériles nécessaires pour prélever les échantillons sont normalement fournis par le laboratoire qui effectue l'analyse. Voici certains autres articles qui sont nécessaires :

- des pinces servant à maintenir les flacons submergés dans l'eau pendant l'échantillonnage;
- des serviettes de papier et de l'alcool isopropylique (alcool à friction) servant à assécher les pinces et à les laver avant de s'en servir pour le prélèvement d'autres échantillons;
- des pipettes jettables servant à l'addition de petits volumes d'eau sur les échantillons prélevés par écouvillonnage;
- un thermomètre ou thermocouple servant à mesurer la température de l'eau.

3.7.3.3 Démarche détaillée

Comme la teneur normale en bactéries et en champignons varie dans l'alimentation en eau, il est particulièrement important de prélever des échantillons d'eau propre (témoin) et d'eau possiblement contaminée (test). Les échantillons témoins doivent être prélevés dans l'alimentation en eau froide et dans les fontaines, les échantillons-tests dans l'alimentation en eau chaude, les douches et les systèmes mécaniques. L'échantillonnage doit avoir lieu deux fois par année, en hiver et en été, afin de vérifier aussi bien les systèmes d'humidification que les systèmes de conditionnement de l'air et parce que le nombre de spores pénètrant dans l'immeuble varie selon la saison.

Deux types d'échantillons sont prélevés :

- des échantillons d'eau (d'environ 70 mL chacun) – au moins trois échantillons sont prélevés à chaque endroit. Chaque flacon est rempli aux trois quarts et son

capuchon est visé à l'aide d'une serviette de papier ou d'un couvre-capuchon. Les flacons sont étiquetés et l'endroit de l'échantillonnage et la température de l'eau sont notés. Les pinces sont asséchées à l'aide de serviettes de papier, puis rincées à l'alcool avant de passer à un autre endroit;

- des écouvillons servant à prélever des matériaux solides ou semi-solides sur une surface. Ajouter toujours de l'eau dans les échantillons prélevés par écouvillonnage afin que toute matière vivante puisse rester en vie jusqu'à l'analyse de l'échantillon. Trois flacons renfermant chacun trois écouvillonssont recueillis. Dans un bac, l'écouvillonnage se fait à l'aide de pinces à la surface de l'eau, sur les parois latérales près de la surface de l'eau, et à la base du bac. Les écouvillons sont insérés à moitié dans le flacon, puis ils sont brisés en leur milieu au moyen du bouchon stérile. À l'aide d'une pipette stérile, quelques millilitres d'eau de la source sont ajoutés dans le flacon renfermant les écouvillons brisés. La pipette est jetée, puis le flacon bouché et étiqueté. L'endroit, la date et l'heure de l'échantillonnage ainsi que la température de l'eau sont notés avant de se rendre au prochain site d'échantillonnage.

Pour éviter la contamination des échantillons, il est important de ne pas mettre ses doigts dans l'eau prélevée, ni sur le col, ni sur le bouchon du flacon, ni sur tout matériel placé dans le flacon (c.-à-d. la partie inférieure de l'écouvillon). Lorsque la bouteille est submergée dans l'eau pour l'échantillonnage, il faut se servir de pinces.

Lorsque la zone où se fait l'échantillonnage est fortement contaminée, la personne qui prélève les échantillons doit porter un masque protecteur.

Lorsque tous les échantillons nécessaires ont été prélevés, ils sont livrés immédiatement, si possible, au laboratoire procédant à l'analyse, mais au maximum dans un délai de 24 heures; autrement, les essais ne sont pas valides.

Le laboratoire effectue des essais standard, par exemple : numération des colonies (SPC), coliformes totaux, pseudomonas, levures et champignons. En outre, pour déceler le bacille responsable de la maladie du légionnaire, il procède à l'examen direct de frottis au moyen d'anticorps fluorescents (DFA) et à la culture sur un milieu différent.

3.7.3.4 Évaluation

Le laboratoire qui effectue les essais soumet un rapport des résultats obtenus. L'importance des teneurs en matières biologiques est évaluée en fonction de normes comme celles fixées par l'American Public Health Association ou par Santé et Bien-être social Canada.

Aucun des organismes réglementant la qualité de l'air n'a émis de normes relatives aux concentrations de moisissures ou de bactéries dans l'air des immeubles.

3.7.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ une demi-journée pour aller chercher et livrer les flacons à échantillons fournis par le laboratoire de biologie. À chaque endroit, le prélèvement de trois échantillons d'eau et de trois échantillons par écouvillonnage prend 15 minutes.

Le laboratoire qui procède aux analyses prend plusieurs jours pour la préparation de cultures à partir des échantillons prélevés ainsi que pour les soumettre aux essais; de plus, il faut encore deux semaines pour la préparation du rapport.

3.7.3.6 Documentation : établissement et classement des documents de travail

Tous les documents de travail ainsi que le rapport du laboratoire de biologie sont classés et conservés.

4. RÉFÉRENCES

1 ACGIH, **Threshold Limit Values for Chemical Substances in the Work Environment Adopted by ACGIH for 1984–85**, publié par l'ACGIH, (1984).

2 R. Alexandersson, B. Kolmodin-Hedman et G. Hedenstierna, **Exposure to Formaldehyde: Effects on Pulmonary Function**, Archives of Environmental Health, 37, 279–2183, (1982)

3 American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE), **ASHRAE Handbook, 1981 Fundamentals**, chapitre 11, publié par l'ASHRAE (1981).

4 ASHRAE, **Position Paper on Legionellosis**, published by ASHRAE, Atlanta, U.S.A. (1981).

5 ASHRAE, **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Norme ANSI/ASHRAE 62–1981R (1986).

6 A.F. Bravery, **Origin and Nature of Mould Fungi in Buildings**, publié par le Building Research Establishment, Angleterre, (1980).

7 G.W. Brundcroft, **Maintenance of Spray Humidifiers**, rapport NTIS PB 80–124944 (1980).

8 Résume du rapport de la conférence du CDC du 11 avril 1980, (1980).

9 Department of Health and Human Services (É.-U.), **The Health Consequences of Smoking; Cancer**, rapport au chirurgien général, (1982).

10 Department of Health and Human Services (U.S.A.), **US Code of Federal Regulations**, Title 29, Part 1900, (1980)

11 R.A. Greisemer et coll., **Report of the Federal Panel on Formaldehyde**, publié par la National Toxicology Program and Consumer Product Safety Commission, Washington, D.C., É.-U., (1980).

12 D. Hoffman et coll., conférence présentée à l'assemblée É.-U.-Japon **New Etiology of Lung Cancer**, (1983).

13 C.D. Hollowell, **Indoor Air Quality**, Rapport du laboratoire Lawrence Berkeley LBL-12887, (1981).

14 C.D. Hollowell et al., **Indoor Air Quality in New Energy Efficient Houses and Retrofitted Houses**, Proceedings of the International Symposium on Indoor Air Pollution, Health and Energy Conservation, Amherst, Massachusetts, U.S.A., 1981.

15 H.L. Kusnetz, **Radon Daughters in Mine Atmospheres. A Field Method for Determining Concentrations**, American Industrial Hygiene Association Journal 17, 85, (1956).

16 R.R. Miksch, C.D. Hollowell and H.E. Schmidt, **Trace Organic Contaminants in Office Spaces**, Environment International, 8, 129–137 (1982).

17 F.J. Miller et coll., **Size Considerations for Establishing a Standard for Inhalable Particles**, J.Air Pollution Control Association, 29, 610–615, (1979).

18 J.D. Miller, **Microbials in Indoor Air**, communication du Groupe des microtoxines, Centre de recherches phytotechniques, Agriculture Canada, (1986).

19 L. Molhave, **Indoor Air Pollution due to Organic Gases and Vapours of Solvents in Building Materials** in Environment International, 8, 117–127 (1982). R. Otson, D.T. Williams and P.D. Bothwell, **Charcoal Tube Technique for Simultaneous Determination of Selected Inorganics in Air**, American Industrial Hygiene Association Journal, 44, 489–494 (1983).

20 L. Molhave, **Indoor Air Quality in Relation to Sensory Irritation due to Volatile Organic Compounds**, ASHRAE Transactions, 92, 306–316, (1986)

21 D.J. Moschandreas et H.E. Rector, rapport technique LBL–12590, EEB–Vent 81–12–1981, (1981).

22 A. Muittari and T. Veneskoski, **Natural and Synthetic Fibers as Causes of Asthma and Rhinitis**, Annals of Allergy, 41, 48–50, (1978).

23 National Research Council (U.S.A.), **Effects of Chronic Exposures to Low Levels of Carbon Monoxide on Human Health**, National Academy Press, Washington DC, USA, (1969).

24 National Research Council (U.S.A.), **Indoor Pollutants**, National Academy Press, Washington DC, (1981).

25 National Research Council (É.–U.), **Indoor Pollutants**, rapport NTIS PB82–180563, (1981).

26 A.V. Nero and W.W. Nazaroff, **Characterizing the Source of Radon Indoors**, Radiation Protection Dosimetry, 7, 23–39, (1984).

27 J.A. Pickrell, L.C. Griffies and C.H. Hobbs, **Release of Formaldehyde from Various Consumer Products**, publié par l'Inhalation Toxicology Research Institute, numéro de publication CPSC 1AG 801463 (1982).

28 E.C. Riley, G. Murphy et R.L. Riley, **Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School**, American Journal of Epidemiology, 107, 421, (1978).

29 C.J. Shirtliffe et coll., **Formaldehyde Measurements in Canadian Homes Using Passive Dosimeters**, Advances in Chemistry Series No. 210, 161–192, (1985).

30 J.D. Spengler et K. Sexton, **Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective**, Science, 221, 9–17, (1983).

31 Commission de revision des lois du Canada, Décret n° 1 sur les objectifs afférents à la qualité de l'air ambiant, **Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique**, chapitre 403 de la Codification des règlements du Canada, volume IV (1978).

[32] Y. Tsuchiya (Conseil national de recherches du Canada), communication privée, (1987).

[33] A.G. Ulsamer et coll., **Workshop on Indoor Air Quality Research Needs** (1980).

[34] U.S. Environmental Protection Agency, **National Primary Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter**, Code of Federal Regulations, titre 40, partie 50.6, (1980).

[35] Organisme mondial de la santé, **Health Aspects Related to Indoor Air Quality**, Rapport OMS n° 21, (1979).

[36] G.S. Young, J.H. Hagopian et E.R. Hoyle, **Potential Health Effects of Residential Energy Conservation Measures**, rapport NTIS PB82-133315, (1981).

5. APPENDICES

5.1 TERMES ET UNITÉS DE MESURE STANDARD

Certaines des définitions listées ici sont des versions modifiées des définitions publiées par l'ASHRAE [3, 5].

Absorption – interaction entre les molécules et le rayonnement électromagnétique, au cours duquel les molécules acceptent l'énergie du rayonnement. Des molécules différentes absorbent des rayonnements d'énergie (ou de fréquence, ou de longueur d'onde); le processus peut donc servir à identifier des substances chimiques présentes dans l'air et à déterminer les concentrations présentes. Ce principe est appliqué, par exemple, dans les analyseurs infrarouges servant à contrôler le bioxyde de carbone et le monoxyde de carbone ainsi que dans les méthodes colorimétriques utilisées pour mesurer la concentration du formaldéhyde.

Adsorption – condensation d'un gaz ou d'une vapeur à la surface d'un solide avec lequel il ou elle est en contact. Ce procédé est utilisé pour recueillir des échantillons de substances chimiques volatiles dans l'air pour des fins d'identification et de mesurages de concentration.

Air ambiant – l'air environnant – se compose d'azote (78,1%), d'oxygène (20,9%) et d'argon (0,9%); la combinaison de la concentration de tous les autres gaz donne une valeur inférieure à 0,1%.

Contaminant – substance aérienne pouvant rendre l'air qui la contient moins acceptable.

Demi-vie – période au cours de laquelle une matière radioactive perd la moitié de sa radioactivité.

Étalonnage – il existe deux méthodes d'étalonnage qu'il est possible d'utiliser selon le type d'instrument :

1) Lorsqu'un instrument est conçu pour permettre une lecture directe des valeurs mesurées sur une échelle numérique ou analogique, l'étalonnage consiste à régler l'échelle de façon que la valeur lue corresponde à une valeur connue fournie par un étalon;
2) Lorsque la lecture sur un instrument se fait sur une échelle arbitraire, plutôt que dans les unités de la valeur mesurée, l'étalonnage demande l'établissement d'une corrélation entre la valeur lue sur l'instrument et la valeur connue pour plusieurs étalons. Cette corrélation est habituellement représentée sous forme d'une courbe ou d'un graphique d'étalonnage.

Exactitude – indication de l'étroitesse des résultats mesurés par un instrument et la valeur vraie de la quantité mesurée.

Gaz – état de la matière où les substances existent sous forme de molécules simples non agrégées. Les gaz obéissent à la loi des gaz parfaits dans des limites acceptables d'exactitude. D'après cette définition, l'air ambiant est un gaz.

Loi des gaz parfaits – relation entre le volume, la pression, la température et la masse d'un gaz ou d'un mélange de gaz. Cette loi s'avère assez juste pour les gaz et donne des résultats raisonnables pour certaines vapeurs en concentration faible; elle ne s'applique pas aux matières particulaires. Cette loi sert à transformer les concentrations de gaz exprimées en masse par volume unitaire (par exemple, en µg/L) en concentrations exprimées en volume par volume unitaire (par exemple, en ppm).

Matières particulaires respirables (en suspension) (MPR ou MPRS) – particules aériennes pouvant pénétrer dans le système respiratoire inférieur et les poumons et y être retenues; ces particules ont donc le potentiel de causer des problèmes de santé. Leur diamètre varie dans la plage allant de 0,1 à 5 µm (micromètres) environ.

Matières particulaires totales en suspension (MPTS) – toutes les particules en suspension dans un échantillon d'air. Dans une atmosphère calme, la taille des matières particulaires aériennes (en suspension) a une limite supérieure d'environ 20 µm (0,02 mm).

Microgramme par litre (µg/L) – unité de mesure utilisée pour exprimer les concentrations de matières particuliaires ou de gaz dans l'air.

Microgramme par mètre cube (µg/m^3) – 1 000 µg/m^3 = 1 µg/L.

Milligramme par mètre cube (mg/m^3) – 1 mg/m^3 = 1 µg/L; 1mg/m^3 = 1000 µg/m^3.

Moyenne arithmétique – quotient de la somme de n valeurs mesurées par le nombre n.

Moyenne géométrique – la racine "n" ième du produit de valeurs d'une série de n mesures. Elle remplace la moyenne arithmétique lorsque les mesures donnent des résultats qui varient beaucoup, car les valeurs extrêmes sont ainsi empêchées d'affecter fortement la moyenne. Le diamètre moyen ou la masse moyenne des matières particulaires est souvent une moyenne géométrique.

Niveau opérationnel (NO) – équivalent à 100 pCi/L de radon (^{222}Rn) lorsque cet élément et ses produits de filiation sont en équilibre. Lorsque l'équilibre n'est pas atteint (par exemple, dans les endroits bien ventilés, où les produits de filiation sont éliminés avant de pouvoir se désintégrer), il faut davantage de radon pour produire un NO de radioactivité. Bien que la quantité totale requise varie en fonction de la situation, on suppose souvent qu'elle est de 200 pCi/L.

Niveau opérationnel–mois (NO–mois) – exposition équivalente à une exposition à 1 NO au rayonnement alpha de façon continue pendant une période d'un mois.

Particule alpha – l'une des particules émises pendant la désintégration radioactive. Sa masse atomique est de quatre et elle porte deux unités de charge électrique

positive. Les particules alpha se fixent facilement sur les matières particulaires aériennes et peuvent donc être inhalées et se fixer aux poumons. Les particules alpha ne pénètrent pas efficacement dans les tissus organiques.

Particule bêta – nom donné à un électron créé et émis pendant une désintégration radioactive. Cette particule est plus de 5000 fois plus légère qu'une particule alpha et possède une unité de charge électrique négative.

Particule gamma (rayon gamma) – rayonnement électromagnétique produit pendant une désintégration radioactive. Les rayons gamma sont analogues aux rayons X, mais ils ont une plus grande énergie.

Partie par milliard (ppb) – unité de mesure utilisée pour de très faibles concentrations de gaz dans l'air. Une concentration d'un polluant de 2 ppb signifie qu'il y a deux volumes unitaires de polluant par milliard de volume unitaire d'air. Une concentration de 1000 ppb est équivalente à une concentration de 1 partie par million (ppm).

Partie par million (ppm) – unité de mesure utilisée pour de faibles concentrations de gaz dans l'air. Une concentration d'un polluant de 4 ppm signifie qu'il y a quatre volumes unitaires de polluant par million de volume unitaire d'air. Une concentration de 10 000 ppm équivaut à une concentration de 1% par volume.

Picocurie par litre (pCi/L) – unité de mesure utilisée fréquemment dans le cas du radon. Cette unité est exactement l'équivalent de la nanocurie par mètre cube (nCi/m^3). Une pCi/L est l'équivalent à 0,037 transformation nucléaire (ou désintégration alpha) par seconde par litre d'air. La pCi/L peut donc être reliée au taux de comptage des particules alpha mesuré par un détecteur au radon.

Polluant – substance aérienne pouvant réduire l'acceptabilité de l'air qui la renferme.

Précision – indication de la qualité de répétion pour les mêmes résultats obtenus lorsque la même mesure est effectuée sur un même instrument plusieurs fois de suite.

Vapeur – substance qui, à faible concentration, est en suspension dans un gaz (habituellement l'air); par contre, en grandes quantités, cette substance est liquide ou solide à la température où se fait l'observation. Les vapeurs renferment des agrégats de molécules et, par conséquent, n'obéissent pas bien à la loi des gaz parfaits.

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÈGLEMENTATION APPLICABLE

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)[1] et l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA)[9] fixent les normes relatives au lieu de travail en supposant une exposition de huit heures par jour et de quarante heures par semaine. Comme les concentrations de polluant fluctuent dans le temps, ces normes sont exprimées en terme d'exposition moyenne, la moyenne pondérée en fonction du temps (MPT). L'exposition maximum acceptable est dite seuil admissible

d'exposition (SAE). Dans le cas de certains polluants, il existe aussi des normes fixant des temps d'exposition plus courts pour des concentrations plus élevées.

L'American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers (ASHRAE)[5] fixe des normes relatives à l'exposition continue pendant 24 heures dans les résidences, mais le nombre de substances chimiques visées est faible. Pour toutes les autres substances, la norme ASHRAE est égale à 10% de la norme ACGIH (un facteur de cinq qui tient compte du temps accru d'exposition et un facteur de deux en cas d'une augmentation de la vulnérabilité de la population).

Comme il n'existe aucune norme visant spécifiquement les immeubles à bureaux, les normes ASHRAE sont généralement adaptées pour ce genre d'environnement.

Les normes ACGIH, OSHA et ASHRAE relatives aux substances chimiques importantes dans les immeubles à bureaux sont listées dans les tableaux 5.2.1 et 5.2.2 qui suivent.

Substance (unités)	ACGIH, MPT	OSHA, SAE	ASHRAE
Dioxyde de carbone (ppm) norme de confort dans les bureaux	5 000	5 000	2 500 1 000
Monoxyde de carbone (ppm) SAE sur 15 minutes	50 400	50	9
Formaldéhyde (ppm)	1	2	0.4
Matières particulaires, MPTS ($\mu g/m^3$)	10 000		
Matières particulaires, MPRS ($\mu g/m^3$)	5 000	5 000	500
Radon (NO)			0.027
Composés organiques volatils (ppm)	VOIR LE TABLEAU SUIVANT		
Matières biologiques	SANS OBJET, VOIR DANS LE TEXTE		

Tableau 5.2.1 Normes relatives à l'exposition à des substances présentes dans l'air des immeubles

Composé	ACGIH, MP (ppm)	OSHA, SAE (ppm)	ASHRAE (ppm)
Acétate de n-butyle	150		15
Acétone	750		75
Benzène	10	10	0
Tétrachlorure de carbone	5	10	1
Chlorobenzène	75	75	7.5
Chloroforme - voir Trichlorométhane			
Cyclohexane	300	300	30
Cyclohexanol	50	50	5
Cyclohexanone	25	50	2.5
Cyclohexène	300	300	30
Décane		100	
1,2-Dichlorobenzène	50	50	5
1,4-Dichlorobenzène	75	75	7.5
1,1-Dichloréthane	200	100	20
1,2-Dichloréthylène	200	200	20
Dichlorométhane	100	500	10
Dioxane	25	100	2.5
Éthylbenzène	100	100	10
n-Hexane	50		5
n-Heptane	400	500	40
2-Méthoxyéthanol	5	25	0.5
Méthylcellosolve - voir 2-Méthoxyéthanol			
Méthylchloroforme - voir 1,1,1-Trichloroéthane			
Méthylcyclohexane	400	500	40
Méthylisobutylcétone	50	100	5
Naphtalène	10	10	1
Octane	300	500	30
Pentane	600	1000	60
Phénol	5	5	0.5
Pyridine	5		0.5
Tétrachloroéthylène	50	100	5
Toluène	100	200	10
1,1,1-Trichloroéthane	350	350	35
Trichloroéthylène	50	100	5
Trichlorométhane	10	50	1
Xylène (o-, m-, p-)	100	100	10

Tableau 5.2.2 Normes relatives à l'exposition à certains composés organiques volatils communément détectés dans l'air ambient des immeubles

Normes canadiennes concernant la qualité de l'air à l'intérieur des immeubles

Il n'existe pas encore au Canada de normes relatives à l'air des immeubles équivalentes aux normes ACGIH, OSHA ou ASHRAE. Le Conseil du Trésor a cependant spécifié que les normes ACGIH doivent s'appliquer dans le cas des lieux de travail en l'absence de recommandations spécifiques émises par Santé et Bien-être social Canada. Travaux publics Canada applique les normes ASHRAE dans tous immeubles à bureaux. Voici certaines normes canadiennes spécifiques :

Formaldéhyde - Directives de Santé et Bien-être social Canada - : 0,1 ppm

Radon - Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) - : 0,05 NO
- Santé et Bien-être social Canada - : 0,02 NO

Normes relatives à l'air extérieur

Certains des polluants importants à l'intérieur des immeubles peuvent avoir leur origine aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur de ceux-ci. Voici les normes qui les concernent.

Les Objectifs afférents à la qualité de l'air ambiant[31] sont les suivants pour le monoxyde de carbone :

Plage souhaitée : 0–5 ppm (moyenne sur 24 heures)
Plage acceptable : 5–12,5 ppm (moyenne sur 8 heures)
Plage acceptable : 12,5–30 ppm (moyenne sur 1 heure)

Les Objectifs afférents à la qualité de l'air ambiant portant sur les matières particulaires en suspension laissent entendre que la plage acceptable sur 24 heures devrait être de 0–120 $\mu g/m^3$ et la moyenne géométrique annuelle de 60–70 $\mu g/m^3$.

Aux États-Unis, la norme de qualité de l'air ambiant relative à l'exposition pendant 24 heures aux matières particulaires totales en suspension (qui ne doit pas être dépassée plus d'une fois par année) est de 260 $\mu g/m^3$, la moyenne géométrique annuelle ne devant pas dépasser 75 $\mu g/m^3$ [34].

Normes relatives aux matières biologiques

Aucun des organismes réglementant la qualité de l'air n'a émis de norme relative aux concentrations de moisissures ou de bactéries dans l'air des immeubles.

5.3 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donne un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevé:	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation : rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et système : rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations : rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux : relevé de la condition
	D31	Dalles et toits structuraux : relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement : relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble

D39 Mesure de la résistance thermique
D40 Inspection de la teneur en humidité
D41 Évaluation des systèmes de couvertures